



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

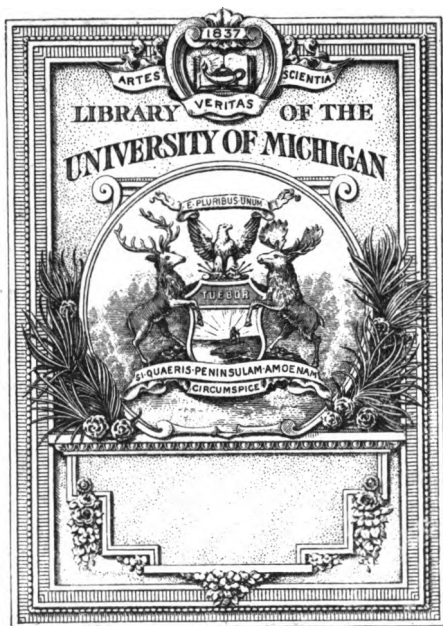
Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



4. J. -1

QC

1

.A613

ANNALEN
DER
PHYSIK UND CHEMIE.

BAND XCI.

ANNALEN



DER

PHYSIK

UND

CHEMIE.

VIERTE REIHE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

ERSTER BAND.

NEBST FÜNF KUPFERTAFELN.

LEIPZIG, 1854.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH.

ANNALEN
DER
P H Y S I K
UND
C H E M I E.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

EIN UND NEUNZIGSTER BAND.

DER GANZEN FOLGE HUNDERT UND SIEBEN UND SECHSZIGSTER.

NEBST FÜNF KUPFERTAFELN.

LEIPZIG, 1854.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH.

I n h a l t

des Bandes XCI der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

	Seite
I. Ueber das Gesetz der Induction bei paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen; von J. Plücker.	1
II. Theorie des elektrischen Rückstandes in der Leidner Flasche; von R. Kohlrausch.	56
III. Die Grundsätze eines thermo-chemischen Systems; von J. Thomsen.	83
IV. Ueber die Anwendung des Cyankaliums in der analytischen Chemie; von H. Rose.	104
V. Herleitung der Fresnel'schen Reflexionsformeln; von A. Beer. .	115
VI. Ueber die beim Ausströmen der Luft entstehenden Töne; von C. Sondhaufs.	126
VII. Ueber zwei merkwürdige Pseudomorphosen von Kalkspath und Eisenglanz; von G. Rose.	147
VIII. Resultate von Messungen an Rutil- und Bleivitriolkrystallen; von N. v. Kokscharow.	154

VI

	Seite
IX. Ueber die Aenderung der Brechbarkeit des Lichts; von G. G. Stokes.	158

(*Geschlossen am 29. December 1853.*)

Zweites Stück.

I. Ueber die in der galvanischen Kette an der Gränze zweier Leiter entwickelte Wärme und Kälte; von M. L. Frankenheim.	161
II. Theorie des elektrischen Rückstandes in der Leidner Flasche; von R. Kohlrausch (Schluß).	179
III. Ueber die beim Ausströmen der Luft entstehenden Töne; von C. Sondhaufs (Schluß).	214
IV. Erwiderung auf die Bemerkungen von Hrn. Clausius; von H. Helmholtz	241
V. Die mechanische Arbeit, welche zur Erhaltung eines elektrischen Stroms erforderlich ist; von C. Holtzmann.	260
VI. Ueber die Herleitung der Formel für die Totalreflexion nach Fresnel und Cauchy; von A. Beer.	268
VII. Ueber die Dispersion der Hauptschnitte zweiaxiger Krystallplatten, so wie über die Bestimmung der optischen Axen durch Beobachtung der Hauptschnitte; von Demselben.	279
VIII. Ueber das Zerfließen und Verwittern der Salze; von P. Kramers.	283
IX. Versuch einer Erklärung der Ausdehnung der Körper durch die Wärme; von A. Fick.	287
X. Ueber die Neeff'sche Lichterscheinung; von P. Riefs.	290
XI. Verbesserte Construction eines Apparats zur Erläuterung verschiedener Erscheinungen bei rotirenden Körpern; von G. Magnus.	295
XII. Ueber die Metallreflexion an gewissen nicht-metallischen Substanzen; von G. G. Stokes.	300

VII

Seite

XIII. Ueber Beobachtungen mit dem Schönbein'schen Ozonometer; von R. Wolf.	314
XIV. Ueber den Mimetesit (Kampylit) von Caldbeck-Fell in Cum- berland; von C. Rammelsberg.	316
XV. Notiz über das viergliedrige schwefelsaure Nickeloxydul; von F. E. Reusch.	317
XVI. Ueber die Fraunhofer'schen Linien; von J. C. Heusser. . . .	319
(Geschlossen am 16. Februar 1854.)	

Drittes Stück.

I. Ueber das Verhältniß, in welchem isomorphe Körper zusammen- krystallisiren, und den Einfluß desselben auf die Form der Kry- stalle; von C. Rammelsberg.	321
II. Ueber die Unterbrechung des Schließungsbogens der elektrischen Batterie durch einen Condensator; von P. Riefs.	355
III. Ueber Pseudomorphosen, nebst Beiträgen zur Charakteristik ei- niger Arten derselben; von Th. Scheerer.	378
IV. Ueber die Krystallform des künstlichen Schwefelwismuths; von G. Rose.	401
V. Untersuchung über das Wismuth; von R. Schneider. . . .	404
Dritte Abhandlung. Ueber das auf trockenem Wege dar- gestellte Wismuthsulfuret.	
VI. Ueber die Gesetze der Entwicklung von Wärme und mechani- scher Kraft durch den Schließungsdraht der galvanischen Kette; von J. H. Koosen.	427
VII. Ueber die Verbindung des Wassers bei chemischen Verbindun- gen; von H. Rose (Fortsetzung).	452
13. Ueber die Verbindungen der Borsäure und des Was- sers mit der Thonerde.	

VIII

	Seite
VIII. Ueber die Bewegung eines Kreisels um seine Spitze; von P. J. Stankart.	462
IX. Herleitung der Cauchy'schen Reflexionsformeln für durchsichtige Mittel; von A. Beer.	467
X. Die circulare Polarisation des Lichts durch chloresaures Natron; von H. Marbach.	482
XI. Ueber den krystallisirten Skorodit von einem neuen Fundort; von N. v. Kokscharow.	488
XII. Oberflächenänderung der Guttapercha; von P. Riefs. . . .	489
XIII. Versuche über die künstliche Erzeugung von Polychroismus in krystallisirten Substanzen; von H. de Sénarmont.	491
XIV. Vom Aluminium und seinen chemischen Verbindungen; von H. Sainte-Claire Deville.	494
XV. Aus einem Schreiben des Professors Langberg in Christiania. . .	495
(<i>Geschlossen am 25. März 1854.</i>)	

Viertes Stück.

I. Ueber die Dispersion der Elasticitätsaxen in einigen zwei- und eingliedrigen Krystallen; von J. Ch. Heusser	497
II. Ueber die Gesetze der Entwicklung von Wärme und mechanischer Kraft durch den Schließungsdraht der galvanischen Kette; von J. H. Koosen (Schluß)	525
III. Beschreibung einer elektromagnetischen Maschine; von Demselben	552
IV. Ueber die Cauchy'schen Näherungsformeln für Metallreflexion; von A. Beer	561
V. Ueber die Einwirkung des Kochsalzes bei der Bildung der Mineralien; von J. G. Forchhammer	568
VI. Ueber das Taschenbarometer; von C. Brunner von Wattenwyl	585

IX

Seite

VII. Beitrag zur Erklärung der Farben der Polarisationsbüschel durch Beugung; von VV. Haidinger	591
Nachschrift	598
VIII. Ueber einige Stellen in der Schrift von Helmholtz »über die Erhaltung der Kraft«, zweite Notiz; von R. Clausius	601
IX. Ueber Höhlungen im Bernstein mit Gasen und Flüssigkeiten; von D. Brewster	605
X. Ueber eine merkwürdige mit Flüssigkeit gefüllte Höhlung im Topas; von Demselben	607
XI. Resultate zweijähriger Beobachtungen über Luft-Elektricität; von F. Dellmann	608
XII. Ueber die Dauer des Lichteindrucks; von H. Emsmann . .	611
XIII. Ueber die Darstellung von metallischem Chrom auf galvani- schem Wege. Aus einem Briefe des Prof. Bunsen	619
XIV. Aelteste Nachricht über Ozon; von F. Mohr	625
XV. Meteorsteinfall unweit Mezö-Madaras in Siebenbürgen . . .	627
XVI. Bemerkung zu J. Regnault's Methode, die elektromotorische Kraft galvanischer Ketten zu bestimmen	628

(Geschlossen am 12. April 1854.)

Nachweis zu den Kupfertafeln.

Taf. I. — Plücker, Fig. 1, S. 36; Fig. 2, S. 43.

Taf. II. — Kohlrausch, Fig. 1, S. 206; Fig. 2, S. 59; Fig. 3, S. 70. — Sondhaufs, Fig. 4, S. 129; Fig. 5, S. 130 u. 133; Fig. 6, S. 220; Fig. 7, 8 u. 9, S. 134; Fig. 10 u. 11, S. 135 u. 215; Fig. 12, S. 220; Fig. 13, 14 u. 15, S. 234; — G. Rose, Fig. 16, S. 149; Fig. 17, S. 150; Fig. 18, S. 153. — Kokscharow, Fig. 19 u. 20, S. 158; Fig. 21 u. 22, S. 155.

Taf. III. — Thomsen, Fig. 1 u. 2, S. 83. — Frankenheim, Fig. 3, S. 163; Fig. 4, S. 165 (diese Figuren sind im Texte irrthümlich mit 1 und 2 bezeichnet). — Stamkart, Fig. 5, S. 462; Fig. 6, 7, 8 u. 9, S. 465. — Brewster, Fig. 10, S. 606, Fig. 11, S. 607. — Magnus Fig. 12 u. 13, S. 295.

Taf. IV. — G. Rose, Fig. 1, 2 u. 3, S. 402. — Koosen, Fig. 4, S. 450; Fig. 5 u. 6, S. 451; Fig. 7^a u. 7^b, S. 547. — Koosen, Fig. 8^a u. 8^b, S. 553; Fig. 9, S. 554. — Marbach, Fig. 10, S. 483; Fig. 11 — 16, S. 484. — Brunner, Fig. 17, S. 587.

Taf. V. — Heusser, Fig. 1, S. 499; Fig. 2 u. 3, S. 503; Fig. 4, S. 504; Fig. 5, S. 505; Fig. 6, S. 504; Fig. 7, S. 507; Fig. 8, S. 511; Fig. 9, S. 512; Fig. 10, S. 517. — Haidinger, Fig. 11, S. 592; Fig. 12, S. 593; Fig. 13, S. 594; Fig. 14, S. 595.

Berichtigungen.

Zum Aufsatz von Ångström, Bd. 88.

S. 170 Z. 17 v. u. lies $25^{\circ}\frac{1}{2}$ statt $15^{\circ}\frac{1}{2}$

Druck- und Schreibfehler in den Aufsätzen von Dellmann.

Bd. 86, S. 533, Z. 19 von oben lies Störungen statt Strömungen

Bd. 89, S. 259, Z. 16 v. o. lies erschien statt schien

Bd. 89, S. 262, Z. 7 v. o. lies desselben statt derselben

Bd. 89, S. 262, Z. 14 v. u. lies ihr statt ihm

Bd. 89, S. 266, Z. 14 v. o. lies isolirenden statt leitenden

Bd. 89, S. 266, Z. 17 v. o. lies besser statt schlechter

Bd. 89, S. 269, Z. 14 v. o. lies Resultate der statt Resultate, den

Bd. 89, S. 625, Z. 5 v. u. lies meinem statt mein

I. *Ueber das Gesetz der Induction bei paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen* ¹⁾;
von Plücker.

§. 1.

Theoretisches.

1. Nachdem Hr. Faraday durch eine neue Reihe von Experimental-Untersuchungen dem Magnetismus die Bedeutung einer allgemeinen Naturkraft und ihm zum Begleiter den Diamagnetismus gegeben hatte, lag der Gedanke nahe, in analoger Weise, wie das specifische Gewicht der Körper durch Zahlen ausgedrückt wird, so auch durch Zahlen den specifischen Magnetismus der verschiedenen (paramagnetischen und diamagnetischen) Körper unabhängig von Grösse und Gestalt derselben auszudrücken ²⁾. Hiernach würde für jeden Körper der specifische Magnetismus eine charakteristische Constante, wie es das specifische Gewicht ist. Dieses letztere bleibt unverändert dasselbe, wenn, für verschiedene Punkte der Erde, die Anziehungskraft derselben sich ändert; es würde auch dann dasselbe bleiben, wenn wir die Bestimmung desselben auf einem andern Planeten machen könnten. Indem wir nämlich das Gewicht des Wassers bei gegebenem Volumen als Einheit nehmen, und damit das Gewicht der andern Körper bei gleichem Volumen vergleichen, kommt es nicht

1) Die Resultate dieser Abhandlung sind bereits der Britischen Association zu Hull am 12. Sept. vorgelegt worden und so bereits in ausländische Journale übergegangen.

2) Ueber Intensitätsbestimmung der magnetischen und diamagnetischen Kräfte. 10. Juni 1848. Annalen Bd. LXXIV. S. 321.

Poggendorff's Annal. Bd. XCI.

darauf an, unter welchen Gravitäts-Verhältnissen die Gewichts-Bestimmungen gemacht werden, vorausgesetzt nur, daß jene Verhältnisse für alle Körper dieselben seyen. Die Gravitation wird dabei eliminirt, specifisches Gewicht und Dichtigkeit werden identische Begriffe. Als geringere oder größere Annäherung gilt Analoges auch für den specifischen Magnetismus der meisten Körper. Sobald er nicht, wenigstens innerhalb gewisser Gränzen und zwischen diesen wenigstens annäherungsweise, von der Größe der inducirenden Kraft unabhängig ist, kann eigentlich von einem specifischen Magnetismus in obigem Sinne keine Rede mehr seyn.

2. Die Wärmemenge, die einem Körper zugeführt werden muß, um eine bestimmte Temperatur-Erhöhung desselben hervorzubringen, ist verschieden nach der Temperatur, die der Körper bereits hat. Die specifische Wärme eines Körpers ist kein ganz absoluter Begriff, sie wird durch eine Zahl ausgedrückt, die von der Temperatur des Körpers abhängt. In ganz gleicher Weise ist das Vermögen einer Substanz neuen Magnetismus anzunehmen abhängig von dem bereits angenommenen Magnetismus und hiernach *der specifische Magnetismus Function der Größe der inducirenden Kraft.*

3. Ich habe in dem Nachstehenden meine bisherige Anschauung festgehalten; daß der Zustand der verschiedenen Körper, bei paramagnetischer und diamagnetischer Erregung, ein vollkommen identischer sey. Nur wenn wir auf die Induction, welche diesen Zustand hervorruft, zurückgehen, ergibt sich ein Gegensatz in der auftretenden Polarität. In dem Falle diamagnetischer Substanzen leitet sich aus ihrer *Abstoßung* durch den inducirenden Magneten, ebenso der specifische Magnetismus ab, wie dieses in dem Falle paramagnetischer Substanzen aus ihrer *Anziehung* durch den inducirenden Magneten geschieht.

4. Ein indirecter Beweis der obigen Behauptung, daß der specifische Magnetismus der Körper mit der Stärke der Induction sich ändere und zwar, für verschiedene Sub-

stanzen, in verschiedener Progression, liefern die vielen zum Theil überraschenden Beobachtungen, auf welche ich zuerst die Aufmerksamkeit der Physiker gelenkt habe, in welchen, bei wachsender Kraft des inducirenden Magneten, gewisse Körper, die aus paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen gemengt sind, anfangs angezogen, dann abgestoßen werden. Für die beobachteten Fälle steht es unumstößlich fest, *dass die Abstossung der diamagnetischen Substanzen rascher bei zunehmender Kraft wächst und also auch rascher bei abnehmender Kraft sich vermindert, als die Anziehung der magnetischen Substanzen.* Es ist dieses ein *mathematischer* Ausdruck für die beobachtete Erscheinung, wobei nur die, bei manchen der angezogenen Versuche unzweifelhafte, Voraussetzung gemacht wird, dass die paramagnetische Erregung der einen Substanz und die diamagnetische der andern keine gegenseitige Einwirkung auf einander ausüben.

5. In meiner theoretischen Auffassung habe ich dieses Gesetz keinesweges als *eine Unterscheidung zwischen paramagnetischen Substanzen und diamagnetischen* angesehen. Zwei kreuzweise verbundene Stäbe, der dickere von Stahl, der dünnere von Eisen, so aufgehängt, dass sie in der Horizontal-Ebene frei schwingen können, richten sich, bei zunehmender inducirender Kraft (bei allmählicher Annäherung an einen starken Magnetpol) anfänglich nach der Axe des Eisenstabes, später nach der Axe des Stahlstabes. *Beim Stahle nimmt der inducirte Magnetismus in rascherem Verhältnisse zu und ab als beim Eisen.* Wir werden sehen, wie diese Analogie der allgemeinen Erklärung der fraglichen Erscheinungen wenig förderlich war.

6. Um das mathematische Gesetz der 4. Nummer zu einem physikalischen umzugestalten, können wir nur Hypothesen setzen, die um so mehr Grund gewinnen, je einfacher sie die verschiedenen Beobachtungen mit einander verknüpfen. Die Hypothese, welche am nächsten liegt, ist anzunehmen, dass der inducirte Magnetismus dem induci-

renden proportional sey, daß beide sich zu einander wie Ursach und Wirkung verhalten. Bezeichnen wir demnach die Intensität des inducirenden Magneten durch M , so ist die Intensität des in einem genäherten Körper inducirten Magnetismus

$$\lambda M$$

und demnach die resultirende Anziehung oder Abstofsung

$$\lambda M^2$$

also proportional dem Quadrate der Intensität des inducirenden Magneten.

7. Wenn die Voraussetzung zulässig ist, daß die inducirende Kraft von einem Punkte ausgeht und dann das Vorstehende auf die Einheit der Entfernung bezogen wird, so wird, bei der Entfernung r die inducirende Kraft $\frac{M}{r^2}$ mithin der inducirte Magnetismus

$$\frac{\lambda M}{r^2}$$

und die resultirende Anziehung oder Abstofsung

$$\frac{\lambda M^2}{r^4},$$

also umgekehrt der vierten Potenz der Entfernung proportional.

8. Wir wollen zuerst annehmen, daß der angewandte Magnet von unveränderlicher Kraft sey und daß gleiche kleinste Massentheilchen dm der in magnetischer Hinsicht zu untersuchenden Substanzen nach einander in dieselbe Lage gegen die Pole des Magneten gebracht werden. Dann können wir den in diesem Massentheilchen inducirten Magnetismus durch Ausdrücke von der Form

$$M \lambda dm$$

darstellen. In diesen Ausdrücken ändert sich, von einer Substanz zu einer andern, der Werth von λ . Diesen Werth von λ wollen wir den jedesmaligen *Inductions-Coëfficienten* nennen.

9. Wenn wir irgend eine Substanz zum Vergleichungspunkte nehmen, etwa das Eisen (wie bei der Bestimmung des specifischen Gewichts das Wasser), und den Inductions-

Coëfficienten für das Massentheilchen desselben durch λ bezeichnen, so ist der Quotient $\frac{\lambda}{\lambda'}$ der *specifische Magnetismus* des Massentheilchens der jedesmaligen Substanz. *Derselbe* Quotient ergibt sich aber auch, wenn wir die magnetische Anziehung oder diamagnetische Abstofsung des Massentheilchens der zu untersuchenden und der ein für alle Mal zur Vergleichung gewählten Substanz, ausgedrückt durch

$$M^2 \lambda dm \qquad M'^2 \lambda' dm,$$

in einander dividiren.

10. Wenn der Inductions-Coëfficient für alle Massentheilchen eines dem Magneten genäherten Körpers derselbe wäre und nun M , mit der Entfernung, sich änderte, so könnten wir den beiden Substanzen, der zu untersuchen und der ein für alle Mal zur Vergleichung gewählten, *dieselbe*, übrigens ganz beliebige Form und Dimension geben und in *dieselbe*, ganz beliebige Lage gegen den Magneten bringen. Alsdann wäre der specifische Magnetismus der erstgenannten Substanz durch den Quotienten gegeben, den wir erhalten, wenn wir die beobachtete, in Gewichten ausgedrückte endliche Anziehung oder Abstofsung dieser Substanz durch die Anziehung der andern dividiren.

11. Von dieser Voraussetzung bin ich in meiner Abhandlung von 1848 ausgegangen. Später, mit sehr vervollkommenen Beobachtungsmitteln, habe ich, in eben dieser Voraussetzung, den specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases bestimmt. Aber, von Anfang an, habe ich mich gegen die *absolute Richtigkeit* der obigen Voraussetzung — ohne welche überhaupt eine eigentliche Vergleichung der Fähigkeit verschiedener Substanzen, Magnetismus aufzunehmen, nicht stattfinden kann und der Begriff des specifischen Magnetismus keine allgemeine Bedeutung mehr hat — verwahrt. Es liegt mir zunächst ob, auf neue Beobachtungen gestützt, dieser Verwahrung ihre volle Entwicklung zu geben, wodurch, wie ich glaube, die bishe-

rige Auffassung der magnetischen und diamagnetischen Erscheinungen eine wesentliche Umgestaltung erleiden wird.

12. Die Frage über die Constanz des Inductions-Coëfficienten λ knüpft sich an die Discussion der beiden Gesetze der 6ten und 7ten Nummer, namentlich des ersteren. Diese Gesetze müssen nothwendiger Weise fallen, sobald der Coëfficient λ nicht von M , der Intensität der magnetischen Wirkung, unabhängig ist. Wenn diese Unabhängigkeit nicht besteht, so folgt daraus, dafs in demselben Körper der Werth von λ sich auch mit der Lage des Massentheilchens gegen den Magneten ändert. Dann ist, wenn wir überhaupt voraussetzen dürfen, dafs die ganze inducirende Wirkung von einem einzigen Punkte ausgehe, in dem Integral

$$M \int \frac{\lambda dm}{r^2},$$

welches den in einem gegebenen Körper hervorgerufenen Magnetismus ausdrückt, λ Function von r . Hierin liegt ein nicht ganz zu beseitigender Fehler, wenn wir aus der beobachteten Anziehung oder Abstofsung, welche der Magnet auf Körper von endlichen Dimensionen ausübt, die Aenderungen, die der Werth von λ erleidet, ableiten wollen.

13. Die nächste Schwierigkeit für die Discussion des Gesetzes der 6. Nummer liegt in der Unmöglichkeit, die Intensität der magnetischen Kraft, welche die inducirende Wirkung ausübt, anders als in der Annahme, dafs, für eine Substanz wenigstens, λ constant sey, direct zu messen. Und indirecte Messungen, indem man den Magneten unter der Einwirkung einer constanten magnetischen Kraft, des Erdmagnetismus zum Beispiel, schwingen läfst, reichen, wenn sie überhaupt anwendbar sind, bei starker Wirkung nicht aus. In dem folgenden Verfahren wird diese Schwierigkeit eliminirt.

14. In einer Rinne, nach dem magnetischen Meridiane gerichtet, sind zwei möglichst gleiche Magnete von gehärtetem Stahle verschiebbar, zwischen welchen, in der ge-

meluschaftlichen Axenrichtung derselben, ein kleines Eisenstäbchen an einem Faden aufgehängt ist, das, wenn es unter dem Einflusse der beiden Magnete, oder eines derselben magnetisch wird, um die Gleichgewichtslage frei schwingen kann. Nachdem die Anzahl der Schwingungen n , die es unter der Einwirkung eines der beiden Magnete, in einer gegebenen Zeit macht, bestimmt worden ist, wird dieser Magnet fortgenommen und, auf der andern Seite des Stäbchens, der andere Magnet mit dem entgegengesetzten Pole so lange genähert, bis das Stäbchen wieder dieselbe Anzahl von Schwingungen macht und also, bei gleicher Polarität, eben so stark magnetisch geworden ist, als zuvor. Wenn man hiernach beide Stahlmagnete zugleich auf das Stäbchen wirken läßt, so befindet es sich unter der doppelten inducirenden Kraft. Dann verlangt das obige Gesetz, daß der inducirte Magnetismus doppelt, die Anziehung viermal so groß sey. Es müßte also das Stäbchen in derselben Zeit $16 n$ Schwingungen machen. (Bei einiger Entfernung darf wohl angenommen werden, daß die möglichst stark magnetischen Stahlstäbe nicht merklich inducirend auf einander wirken, was übrigens leicht, indem man die Stäbe, unter dem Einflusse des Erdmagnetismus, schwingen läßt, sich verificiren läßt).

15. Dieser Versuch ist einstweilen nur mit Herrn Fessel besprochen, nicht ausgeführt. Ich bin aber, auf Grund der später anzuführenden Versuche im Voraus überzeugt, daß die zu beobachtende Anzahl der Schwingungen hinter der bezeichneten Anzahl, die nur als ein Gränzwert anzusehen ist, zurückbleiben wird und daß also die doppelte inducirende Kraft nicht den doppelten Magnetismus im Eisenstäbchen hervorruft. Wir müssen in diesem Stäbchen einen *Widerstand* ¹⁾ annehmen, welcher der Hervorrufung des Magnetismus in demselben sich widersetzt.

1) Ich gebrauche hier das Wort »Widerstand« in demjenigen Sinne, in welchem man dieses Wortes sich bedienen würde, wenn man den Magnetismus als Bewegung auffaßt, der sich Hemmnisse irgend einer Art entgegenstellen; sehe hierin aber ein bloßes Bild, dem wir unsere

Ersetzen wir das Eisenstäbchen durch ein ganz gleiches Stäbchen von Nickel, Kobalt, Magneteisenstein, so erhalten wir, bei einfacher Kraft, *eine andere magnetische Intensität* und, bei verdoppelter Kraft, ein anderes Zurückbleiben gegen die 16 *n*-fache Schwingungszahl: *einen anderen Widerstand*.

16. Ich habe bei diesem Versuche hier ausführlicher verweilt, um die Frage bestimmter zu formuliren, und wende mich nun zu den Versuchen mit dem großen Elektromagneten zurück. Mein Verfahren, den Magnetismus der verschiedenen Substanzen zu bestimmen, weicht nicht wesentlich von dem, früher von mir befolgten und beschriebenen ab. Ich bediene mich einer Geißler'schen Glaswaage, welche recht gut eine Belastung von 60—80 Gramm auf jeder Seite verträgt und für ein Zehntel-Milligramm noch einen namhaften Ausschlag giebt, um die Anziehung, welche der Elektromagnet nach einander auf verschiedene Substanzen ausübt, die genau denselben Raum ausfüllen und genau in dieselbe Lage gegen den Magneten gebracht worden, zu bestimmen. Die von mir untersuchten Substanzen sind sämmtlich entweder gasförmig oder flüssig, oder, wenn sie fest sind, in möglichst feines Pulver zertheilt und in diesem letztern Falle, wenn die Anziehung zu stark ist, mit einer Mischung von Schmalz und etwas Wachs innigst verrieben. Sie werden nach einander in dasselbe Glasgefäß gebracht und dieses genau in gleicher Weise damit angefüllt. Die Form des Glases, von möglichst dünner Wandung, ist entweder die Kugelform oder eine solche, welche, bei einer geringern Masse der zu prüfenden Substanz, durch die größere Annäherung derselben an die Pole, eine verhältnißmäfsig stärkere Anziehung oder Abstofsung giebt. In diesem letztern Falle hat das Fläschchen einen längeren Hals, in dem ein leichter, mit einem Ringe zum Aufhängen versehener eingeschliffener Glasstöpsel möglichst

Ausdrucksweise anpassen. So lange müssen wir nothwendig eine solche bildliche Sprache reden, als wir in die eigentliche Natur des Magnetismus keinen Blick gethan.

genau paßt. Für die Schmalzmischungen ist der Hals weiter und kurz, und um diesen wird, wenn es gefüllt und abgestrichen ist, ein dünner Kupferring befestigt und dieser durch drei dünne Kupferdrähte, die oben in einen einzigen zusammenlaufen, getragen.

17. Auf die Polflächen des großen Elektromagneten werden die beiden schweren Halbanker so aufgelegt, daß sie mit ihren abgerundeten Enden einander bis auf 5^{mm},5 genähert und in dieser Entfernung durch ein dazwischen geklemmtes Messingstück festgehalten werden. Auf einem dieser Halbanker steht die Waage, an deren einem Arme das Glasgefäß so aufgehängt wird, daß es, wenn der Zeiger der Waage auf Null steht, die beiden Halbanker in denjenigen beiden Punkten ihrer oberen Flächen, die einander am nächsten liegen, berührt. Die Abwägungen geschehen nicht oberhalb der Pole und erst nachdem das Glasgefäß seitwärts äquilibriert worden, wird es durch eine Drehung der Waage über die Pole gebracht. Nachdem die Kette geschlossen, wird das Glasgefäß entweder angezogen oder abgestoßen. Um die *Anziehung* zu bestimmen, werden auf die am anderen Arme der Waage hängende Schale kleine Gewichte so lange behutsam zugelegt, bis das Glasgefäß von dem Magneten abgerissen wird. Bei schwacher Wirkung wird, nach einer vorläufigen Bestimmung, ein Reuter von feinem Platindrahte, 0^{gr},01 schwer, auf einem der beiden, in 100 Theile eingetheilten, Arme der Waage vorsichtig bis zum Abreißen des Glases von den Polen fortgeschoben und dann differiren unmittelbar einander folgende Bestimmungen nicht um ein Milligramm. Bei stärkerer Wirkung (Füllung mit Eisenoxyd) ist eine größere Genauigkeit als ein Centigramm in den einzelnen Bestimmungen nicht erstrebt worden. Durch die dadurch bedingte längere Schließungsdauer des Stromes würde mehr verloren als durch eine größere Genauigkeit in der Bestimmung des zum Abziehen erforderlichen Gewichtes gewonnen. Wo die Wirkung am stärksten ist (bei starkem Strome und einer Füllung mit einer etwa ein Proc. Eisen

enthaltenden Schmalzmischung) kommen selbst mehrere Centigramm auf eine Anziehung von 40^{er} und mehr nicht in Betracht. Nach jeder Bestimmung wird die Kette geöffnet.

18. Was die Bestimmung der *Abstoßung* diamagnetischer Substanzen betrifft, so ist das Verfahren ganz dasselbe, so lange der Diamagnetismus der Füllung geringer ist, als der schwache Magnetismus des Glasgefäßes. Dann ist die Anziehung des leeren Glases größer als die Anziehung des gefüllten, und wir müssen, umgekehrt wie früher, um die Abstoßung zu erhalten die letztere Anziehung von der ersteren abziehen. Wenn hingegen die diamagnetische Abstoßung der Substanz die magnetische Anziehung des Glasgefäßes überwiegt, wird dieses letztere, wie bisher, über den Polen ajustirt und Gewichte werden so lange von der Waagschale fortgenommen, bis, nach Schließung der Kette, der Elektromagnet nicht mehr im Stande ist, das aufliegende Glasgefäß abzustossen. Hier thut der Reuter wiederum seine guten Dienste. Unter günstigen Verhältnissen (beim Phosphor zum Beispiel), wenn namentlich die Waage nicht übermäßig belastet ist, weichen auch hier auf einander folgende Bestimmungen nicht um ein Milligramm ab; unter ungünstigen Umständen steigt diese Abweichung höchstens auf ein Centigramm. Im Jahre 1848 habe ich die Bestimmung der diamagnetischen Abstoßung, auch wenn sie stärker ist, durch Hinzufügung eines magnetischen Körpers auf die zuerst bezeichnete zurückgeführt, seitdem aber die Vorzüge des neueren Verfahrens erkannt.

19. Nach der, in den letzten Nummern beschriebenen Methode habe ich im Laufe der letzten Jahre eine große Menge von Bestimmungen gemacht, theils in der Absicht, Analogien zwischen dem magnetischen Verhalten der Körper und ihrer chemisch-atomistischen Zusammensetzung aufzufinden, theils zur Aufstellung eines allgemeinen Gesetzes der magnetischen Induction. Während ich die in der ersten Absicht gemachten Bestimmungen einer zweiten Mit-

theilung vorbehalte, werde ich, im zweiten Paragraphen der gegenwärtigen, die Resultate derjenigen Beobachtungen mittheilen und discutiren, die sich auf den zweiten Gegenstand beziehen und welche beweisen, daß der inducirte Magnetismus der Intensität des inducirenden Magneten *nicht* proportional wächst, sondern *daß, nach der Natur der verschiedenen Körper, dieses Wachsen einerseits einer solchen Proportionalität sich annähert, andererseits aber bald aufhört überhaupt merklich zu seyn.*

20. Wir erhalten auf diese Weise die volle experimentale Begründung für die frühere Behauptung, daß wir einen Widerstand annehmen müssen, welcher sich der zunehmenden Magnetisirung eines Körpers immer mehr widersetzt und demzufolge wir den in einem Massentheilchen dm inducirten Magnetismus der inducirenden Kraft M proportional setzen und durch

$$M \lambda dm$$

ausdrücken können. Innerhalb engerer oder weiterer Grenzen können wir diesen Widerstand annäherungsweise einer n ten Potenz des ohne ihn erregten Magnetismus proportional setzen und erhalten dann, statt des obigen Ausdruckes den folgenden:

$$(M \lambda - \mu M^n \lambda^n) dm = M \lambda (1 - \mu M^{n-1} \lambda^{n-1}) dm.$$

Es ist hierbei M eine Function der Entfernung des Massentheilchens dm von denjenigen Punkten, von welchen die inducirenden Kräfte ausgehen. Wenn sich diese auf eine von einem einzigen Punkte ausgehende Kraft reduciren lassen, so können wir M durch den Ausdruck $\frac{m}{r^2}$ ersetzen, wobei r die Entfernung des Massentheilchens von dem Mittelpunkte der Kraft und m eine Constante bezeichnet.

21. Die Constante λ haben wir oben bereits den Inductions-Coëfficienten genannt, wir wollen μ' den *Widerstands-Coëfficienten* nennen. Also nur in sofern wir $\mu(M \lambda^{n-1})$ gegen die Einheit vernachlässigen können, bestimmen die

Werthe des Inductions-Coëfficienten λ' den specifischen Magnetismus der verschiedenen Substanzen.

22. Wenn $n = 1$, das heisst, wenn der Widerstand einfach dem inducirten Magnetismus proportional wäre, so reducirte sich der Werth der Inductions-Constanten dadurch auf $(1 - \mu)\lambda$ und wir brauchten keinen Widerstand anzunehmen. Jede Substanz hätte dann ihren bestimmten specifischen Magnetismus, ganz unabhängig von der Grösse der inducirenden Kraft. Es widerspricht dies geradezu unseren Beobachtungen.

23. Wenn $n = 0$, das heisst wenn ein constanter Widerstand μ zu überwinden wäre, so müßten wir annehmen, dafs erst wenn

$$M > \frac{\mu}{\lambda}$$

Inductionswirkung einträte und diese, wenn sie einmal eingetreten wäre, rascher als M zunähme, nämlich proportional mit $(M - \frac{\mu}{\lambda})$. Wenn wir aber auch das Erste als noch nicht entschieden widerlegt ansehen wollten, unsere Beobachtungen geben gerade das Gegentheil des Zweiten. Einen solchen constanten Widerstand entnahm ich früher aus Analogien, denen ich sonst aber keine Bedeutung beilegte und in der Sprache dieser Analogien mußte ich damals, als die neuen Bestimmungen noch nicht vorlagen, sagen »weil der inducirte Magnetismus diamagnetischer Substanzen mit der inducirenden Kraft rascher zunimmt als beim Eisen, ist der Widerstand bei erstern gröfser als beim letztern.« Hier bot sich das Verhalten des Stahles zum Eisen als Analogie des Verhaltens des Wis-muths zum Eisen dar.

Der Werth von λ ist von einer Substanz zur anderen veränderlich. Demnach müßten wir auch, in der fraglichen Unterstellung, bei schwach paramagnetischen Substanzen die beobachtete schnellere Zunahme des inducirten Magnetismus als Folge eines verhältnismäfsig gröfseren Widerstandes erklären.

24. Es kann n also nicht Null seyn, es kann überhaupt nicht kleiner, es muß *größer* als die Einheit seyn. Denn nur in dieser letzten Voraussetzung wächst die Intensität des inducirten Magnetismus langsamer als die inducirende Kraft. Nennen wir jene Intensität J , so giebt die Gleichung:

$$J = M\lambda (1 - \mu M^{n-1} \lambda^{n-1}) dm, \quad (I.)$$

wenn wir differentiiren

$$\frac{dJ}{dM} = (\lambda - n\mu\lambda^n M^{n-1}) dm$$

und dieser Ausdruck wird, je nachdem $n < 1$ oder $n > 1$ bei zunehmendem M , im ersten Falle kleiner im zweiten größer. Und somit sind wir gezwungen anzunehmen, daß bei dem magnetischen Eisen der Widerstand verhältnißmäßig größer ist, als bei dem diamagnetischen Wismuth. So hat, indem die eine physikalische Auffassung an die Stelle der anderen getreten ist, das an und für sich unumstößliche Gesetz der 4. Nummer, eine Aussage erhalten, die der früheren *geradezu widerspricht*. Eine Analogie finden wir in dem Brechungsgesetz des Lichtes, welches als mathematischer Ausdruck für die Resultate der Beobachtung unangetastet geblieben ist; in der Undulationstheorie wird daraus der physikalische Satz abgeleitet, daß in dichteren Medien das Licht sich langsamer bewegt, während die Emissionstheorie früher gerade das Umgekehrte daraus folgerte.

25. Es ist also $n > 1$. Der Annahme, daß $n = 2$, steht entgegen, daß, wenn M durch Null hindurchgeht, die Polarität des inducirenden Magneten sich ändert und nachher, bei umgekehrter Polarität, sich Alles in gleichem Maasse wiederholt. Dem entsprechend dürfen in dem Ausdrucke für J , wenn wir ihn nach steigenden Potenzen von M entwickeln, nur die ungeraden Potenzen vorkommen. Demnach werden wir, indem wir $n = 3$ nehmen, auf die folgende Gleichung geführt

$$J = \lambda M (1 - \mu \lambda^2 M^2) dm \quad (II.)$$

und erhalten hiernach, wenn wir die Anziehung A nennen und durch κ eine Constante bezeichnen, die von der Einheit abhängt, durch welche wir diese Anziehung messen

$$A = \kappa \lambda M^2 (1 - \mu \lambda^2 M^2) dm. \quad (\text{III.})$$

26. Innerhalb derselben Gränzen, innerhalb welcher die vorstehenden Annäherungs-Gleichungen gelten, können wir dieselben, nach gehöriger Constanten-Bestimmung, auch mit den folgenden vertauschen

$$J = k \arctan \left(\frac{M}{c} \right) dm \quad (\text{IV.})$$

$$A = \kappa M k \arctan \left(\frac{M}{c} \right) dm. \quad (\text{V.})$$

Die Gleichung IV. giebt, unter Vernachlässigung der fünften und der höheren Potenzen von M ,

$$J = k \frac{M}{c} \left(1 - \frac{M^2}{3c^2} \right) dm$$

und stimmt mit der Gleichung II. überein, wenn wir

$$\lambda = \frac{k}{c}, \quad \mu = \frac{1}{3k^2}$$

setzen.

Bei paramagnetischen Substanzen ist λ und dem entsprechend k *positiv*, bei diamagnetischen *negativ* zu nehmen.

27. Die Kraft unseres Elektromagneten ist aber, bei der Art, wie wir uns desselben bedienen, und demnach ist auch der Werth von M zu groß, als daß wir bei den beiden ersten Gliedern der Entwicklung von J stehen bleiben könnten. Die Gleichungen II. und III. versagen hier den Dienst, wir müssen mehr Glieder hinzunehmen. Dagegen stellen die Gleichungen IV. und V., als Annäherungsformeln wenigstens, die Beobachtungen gut dar, wenn sie nicht das Gesetz der magnetischen Induction selbst wirklich ausdrücken. Die beiden Constanten k und c erhalten hierbei für jede besondere paramagnetische und diamagnetische Substanz besondere Werthe.

28: Welches auch die inducirende Kraft sey, welche in einer Substanz magnetische Polarität hervorruft, ob ein Magnetpol oder ein magnetischer Strom, sie findet in der-

selben Substanz, bei gleich stark erregtem Magnetismus, immer denselben Widerstand. Demnach ist die in einem Eisenkern durch verschiedene Stromstärken hervorgerufene magnetische Kraft durch dieselbe Formel auszudrücken. Es ist, wenn wir den erregten Magnetismus durch M , die Stromstärke durch J und durch K und C zwei Constante bezeichnen:

$$M = K \arctan \left(\frac{J}{C} \right). \quad (\text{VI.})$$

Die Herren Lenz und Jacobi stellten zu einer Zeit, da genaue Beobachtungen noch unvergleichlich viel schwieriger waren als jetzt, das Gesetz auf, daß die Stromstärke dem inducirten Magnetismus proportional sey. Das würde die vorstehende Gleichung auf das erste Glied ihrer Entwicklung reduciren und

$$\frac{M}{K} = \frac{J}{C}$$

geben. Unsere späteren Beobachtungen berechtigen uns für unseren großen Hufeisen-Elektromagneten als erste Annäherung, aber nur für schwächere Ströme, dasselbe anzunehmen.

29. Hier tritt uns nun zunächst die Frage entgegen, nach welcher Einheit wir, für einen gegebenen Elektromagneten, M messen sollen. Dadurch namentlich, daß die beiden Halbanker auf die Polflächen desselben aufgelegt und beliebig einander genähert werden, vergrößert sich gewissermaßen die inducirte Eisenmasse und die gegenseitige Induction der beiden Pole wächst mit der Annäherung derselben. Es ist am natürlichsten anzunehmen, daß auch diese secundären Inductions-Wirkungen, wie es die ursprüngliche ist, der jedesmaligen Stromstärke annäherungsweise proportional seyen, und daß demnach, an welcher Stelle des Elektromagneten wir die Erregung nehmen mögen, diese mit dem Strome in gleichem Verhältnisse wachse, und wir also die GröÙe dieser Erregung aus der Anziehung ableiten können, die der Elektromagnet auf ein Massentheilchen in einer festen, sonst aber ganz beliebigen Lage gegen denselben ausübt. Statt des einzelnen Mas-

sentheilchens nehmen wir eine Substanz, die den inneren Raum unseres Fläschchens ausfüllt, welches aufstehend, jeden der beiden in fester Entfernung gehaltenen Halbanker in einem einzelnen Punkte berührt. Wir machen hierbei nothwendig einen neuen Fehler (12), und wenn wir ein Fläschen mit einem ähnlichen von verschiedener Form und verschiedenem Volumen, aber gefüllt mit derselben Substanz vertauschen, so ist die Zunahme der Anziehung bei wachsender Stromstärke eine andere. Doch geben die Beobachtungen diese Aenderung in der Zunahme so klein, daß auch jener Fehler nicht sehr bedeutend seyn kann.

30. Wir wollen die Stromstärke eines Grove'schen Elementes, das durch den langen Kupferdraht, der das Hufeisen umwindet, geschlossen ist, als Einheit nehmen. Dann giebt die Gleichung VI. für den bei dieser Stromstärke in dem Eisen inducirten Magnetismus

$$\frac{1}{K} = \text{arc} \left(\text{tang} = \frac{1}{C} \right). \quad (\text{VII.})$$

Nach dem Vorstehenden messen wir denselben durch diejenige Kraft, die es auf das auf den beiden Halbankern aufstehende Fläschchen ausübt. Diese Kraft nehmen wir als Einheit und in derselben Einheit müssen wir alsdann M in der allgemeinen Gleichung VI. ausdrücken.

Wir können diese Gleichung und die vorstehende auch unter folgende Form bringen

$$\frac{S}{C} = \text{tang} \left(\frac{M}{K} \right) \quad (\text{VIII.})$$

$$\frac{1}{C} = \text{tang} \left(\frac{1}{K} \right) \quad (\text{IX.})$$

mithin kommt

$$S \text{ tang} \left(\frac{1}{K} \right) = \text{tang} M \left(\frac{1}{K} \right)$$

und wenn wir zu Logarithmen übergehen

$$\log \text{tang} \left(\frac{1}{K} \right) + \log S = \log \text{tang} M \left(\frac{1}{K} \right) \quad (\text{X.})$$

Wir können leicht durch Hülfe der Tafeln einen Bogen finden, dessen Tangentenlogarithmus um die GröÙe $\log S$

$\log S$ wächst, wenn er selbst den M fachen Werth erhält. Dieser Bogen ist dann die Constante $\left(\frac{1}{K}\right)$, wonach die Gleichung IX. sogleich die zweite Constante $\frac{1}{C}$ giebt.

Stromstärke und inducirter Magnetismus sind hier, in Gemälsheit der Bestimmung der beiderseitigen Einheiten, beide zugleich Eins. Kennen wir außerdem noch irgend zwei zusammengehörige Werthe von M und S , so ist die Bestimmung der beiden Constanten der allgemeinen Gleichung VI. vollständig.

31. Nach diesen vorläufigen Erörterungen wenden wir uns zu unserer eigentlichen Aufgabe zurück: zur Bestimmung des in einem beliebigen Körper durch unseren starken Elektromagneten hervorgerufenen Magnetismus.

An der Stelle der Gleichungen III. und IV. treten nun die folgenden

$$\frac{J}{k} = \text{arc tang} \left(\frac{M}{c} \right) \quad (\text{XI}).$$

$$\frac{A}{xkM} = \text{arc tang} \left(\frac{M}{c} \right) \quad (\text{XII}).$$

welche wir auch folgendergestalt schreiben können:

$$\frac{M}{c} = \text{tang} \frac{J}{k} \quad (\text{XIII}).$$

$$\frac{M}{c} = \text{tang} \frac{A}{xkM} \quad (\text{XIV}).$$

In dieser letzten Gleichung sey A in Grammen ausgedrückt und bei der Anwendung eines Grove'schen Elementes, also für $M=1$, $\frac{A}{x}$ ebenfalls der Einheit gleich. x ist also dieselbe Anziehung in Grammen ausgedrückt. Dann kommt

$$\frac{1}{c} = \text{tang} \frac{1}{k} \quad (\text{XV}).$$

und wenn wir überhaupt $\frac{A}{x} = P$ setzen

$$\frac{M}{c} = \text{tang} \left(\frac{P}{M} \right) \left(\frac{1}{k} \right) \quad (\text{XVI}).$$

Analog wie oben bestimmt sich also auch hier, wenn wir aus Poggendorff's Annal. Bd. XCI.

fer der Einheit noch irgend zwei sich entsprechende Werthe von M und P kennen, durch die logarithmische Gleichung:

$$\log \tan \left(\frac{1}{k} \right) + \log M = \log \tan \left(\frac{P}{M} \right) \left(\frac{1}{k} \right) \quad (\text{XVII.})$$

die Constante k und dann durch die Gleichung (XV.) die andere Constante c .

Die Gleichungen (XI) und (XIII) sind dann vollkommen bestimmt; wir können sie auch unter den folgenden Formen schreiben:

$$J = \frac{\arcsin \left(\tan = \frac{M}{c} \right)}{\arcsin \left(\tan = \frac{1}{c} \right)} \quad (\text{XVIII.})$$

$$M = \frac{\tan \left(\frac{J}{k} \right)}{\tan \left(\frac{1}{k} \right)}. \quad (\text{XIX.})$$

32. Nach den vorstehenden Erörterungen giebt es für jede Substanz einen *Sättigungspunkt für Magnetismus*. Denn der größte Werth J_{∞} , den J überhaupt annehmen kann, $M = \infty$ entsprechend, ist

$$J_{\infty} = \frac{k\pi}{2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3\mu}}$$

wonach

$$\mu = \frac{\pi^2}{12 J_{\infty}^2}.$$

Die *Widerstands-Constante* μ (21.) bestimmt sich also lediglich durch den Sättigungspunkt und dieser durch jene.

33. Durch Differentiation der Gleichung (XI.) ergibt sich

$$\frac{dJ}{dM} = \frac{\kappa}{c} \cdot \frac{c^2}{c^2 + M^2} = \frac{k}{c} \cos^2 \frac{J}{k}$$

und wenn wir insbesondere M und demnach auch J gleich Null setzen

$$\frac{dJ}{dM} = \frac{k}{c} = \lambda.$$

34. Der Begriff des *specifischen Magnetismus* einer Substanz hat, nach dem Vorstehenden, keine Bedeutung mehr, sobald wir nicht von einer constanten, ein für alle

Mal gegebenen inducirenden Kraft ausgehen. Er schwankt (9.), wenn diese Kraft von 0 bis ∞ wächst und wir k, λ, μ auf die jedesmalige Substanz, k', λ', μ' auf die zur Vergleichung genommene beziehen, und den specifischen Magnetismus bei der Einheit der inducirenden Kraft σ nennen, zwischen den Grenzen:

$$\frac{\lambda}{\lambda'} \sigma \quad \text{und} \quad \frac{k}{k'} \sigma \equiv \sqrt{\frac{\mu'}{\mu}} \cdot \sigma.$$

Beobachtungen und numerische Resultate.

35. Da kein Mittel vorlag, die Kraft des Elektromagneten bei steigender Erregung zu messen, so war die Nothwendigkeit gegeben, zur Vergleichung der Stromstärke, welche zu dieser Erregung angewandt wurde, zurückzugehen. Aber auch dieses durch directe Messungen zu thun habe ich für unsere Zwecke nicht für angemessen gehalten, um so weniger bei der großen Stärke des Stromes. Denn um zu erkennen, ob, bei einer gegebenen Anzahl von stromerregenden Elementen, die magnetische Kraft dieselbe geblieben, ist die Bestimmung der Anziehung, welche auf ein und dasselbe, mit einer unveränderlichen Normalsubstanz, ein für alle Mal gefülltes Gefäß ausgeübt wird, nicht nur viel genauer, sondern es tritt auch noch der Umstand hinzu, daß die Art wie die Anker auf den Elektromagneten aufgelegt werden, einen eben so bedeutenden Einfluß auf die Größe der wirksamen magnetischen Kraft ausübt, als die Stromstärke selbst, und von dieser unabhängig ist. Anfänglich habe ich die Stromerregung wachsen lassen durch Vermehrung der, zu einer Kette verbundenen, einzelnen Grove'schen Elemente. Dieses fordert die Bestimmung von Widerstands-Constanten, um nach dem Ohm'schen Gesetze, ohne weitere Messungen, die Stromstärke der, unter einander gleichen, zu einer Kette verbundenen Elemente bestimmen zu können. Da wir indess hier nur eines einfachen, doppelten, dreifachen, vierfachen Stromes bedürfen, so können wir, mit Umgehung jeder Constanten-Bestimmung, nach dem Ohm'schen Gesetze dieses

einfach dadurch erreichen, daß wir einmal ein einziges Element, dann vier Elemente paarweise zu einer zwei-elementigen Kette, neun zu drei und drei zu einer drei-elementigen, sechzehn zu vier und vier zu einer vier-elementigen Kette verbinden.

36. Die Tröge wurden immer auf dieselbe Weise behandelt. Bei allen nachstehend mitzutheilenden Beobachtungen wurde frische käufliche Salpetersäure angewandt und die Schwefelsäure mit dem Zwölffachen ihres Volumens durch Wasser verdünnt. Die porösen Thongefäße (ich fand die Berliner allen anderen vorzuziehen) wurden, nach dem Gebrauche, einige Stunden in Wasser gelegt und dann ein paar Tage an der Luft getrocknet. Die Salpetersäure wurde zuerst in die Gefäße gegossen und diese wurden erst dann, wenn sie von derselben durchzogen waren, in die verdünnte Schwefelsäure gebracht.

Die Tröge wurden durchgehends zuerst zu der stärksten Kette verbunden und dann erst in schwächere Ketten und einzeln zur Stromerregung angewendet.

Auf diese Weise gab an verschiedenen Tagen ein einzelnes Element und dieselbe Kettenverbindung so übereinstimmende Resultate, daß die Abweichungen mehr vielleicht auf zufällige, nicht *ganz* zu vermeidende Fehler (namentlich auf das verschiedene Aufliegen des Glases auf den einander genäherten Halbanker, wenn dieses nicht die Kugelform hatte und, mit stark magnetischen Substanzen gefüllt, durch diese gerichtet wurde) kommen, als auf die verschiedene Erregung. Dadurch ist es uns zugleich gestattet, aus Versuchen, die zu verschiedener Zeit angestellt wurden, ein Mittel zu nehmen.

37. Der Raum gestattet nicht, die große Anzahl der vorliegenden Beobachtungen vollständig mitzutheilen. Selbst die auf den vorliegenden Gegenstand unmittelbar bezüglichen sind noch zu zahlreich, als daß sie hier sämmtlich und in dem Zusammenhange, in welchem sie gemacht wurden, mitgetheilt werden könnten. Nur um ein Urtheil über die Beobachtungs-Methode möglich zu machen, theile

ich hier beispielsweise zwei vollständige Beobachtungsreihen, jedoch ohne alle Reductionen, mit.

Erste Beobachtungsreihe.

Viermal vier Tröge.

1. Fläschchen I. mit dem Normal-Eisenoxyd gefüllt, reißt ab bei einer Belastung von	14 ⁵ ,62
2. Fläschchen II. mit Nickeloxyd bei . . .	17 ,18
3. Anziehung des leeren Fläschchens II ¹⁾ .	0 ,013
4. Fläschchen II. mit Wismuthpulver gefüllt im Gleichgewicht bei einer Belastung von	56 ,556
5. Geht ab von den Polen bei	55 ,32
6. Normalfläschchen	14 ,66
7. Fläschchen II. mit Wismuth	55 ,33

Dreimal drei Tröge.

8. Dasselbe Fläschchen II.	55 ,63
9. Normalfläschchen	13 ,72
10. Fläschchen II. mit Wismuth	55
11. Normalfläschchen	13 ,82
12. Fläschchen mit Wismuth	55 ,63

Zweimal zwei Tröge genommen von den übrigen sieben.

13. Dasselbe Fläschchen	56 ,07
14. Normalfläschchen	12 ,05
15. Fläschchen mit Wismuth	56 ,07
16. Normalfläschchen	12 ,06

Einzelne Tröge (die drei übrigen gaben fast ganz übereinstimmend).

17. Normalfläschchen	10 ,65
18. Fläschchen mit Wismuth	56 ,42

Die früheren dreimal drei Tröge.

19. Dasselbe Fläschchen	55 ,64
20. Normalfläschchen	13 ,74

Alle 16 Tröge als Kette.

21. Dasselbe Fläschchen	16 ,05
22. Fläschchen mit Wismuth	54 ,92

1) Diese Anziehung war bereits früher bei einfacher, doppelter und dreifacher Stromstärke gemacht worden.

Zweite Versuchsreihe.

38. Das Fläschchen II. war mit Phosphor gefüllt. Die drei anderen Fläschchen III, IV, V enthielten eine Mischung von Schmalz und Wachs, mit der in vorher bestimmtem Verhältnisse (nahe 0,6 Proc.) Eisen, Kobalt, Nickel, in Form von feinstem Pulver, gleichmäßig verrieben worden war. Die Zahlen der folgenden Tabelle geben die auf einander folgenden Bestimmungen der Belastungen, bei welchen II. anfängt sich von den Polen zu lösen und III, IV, V abgezogen werden. Gewicht des Gläschens mit Phosphor: 16^{gr},5432.

	Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
	1.	2.	3.	4.	
Phosphor				16,322	
Nickel				15,68	
Kobalt				27,29	
Eisen				28,85	
„			25,06		
„		19,15			
„	{ 12,95				
„	{ 13,10				
„	{ 12,96				
Kobalt			23,65		
„		18,50			
„	{ 12,40				
„	{ 12,41				
„	{ 12,33				
Nickel			14,55		
„		12,72			
„	{ 10,49				
„	{ 10,52				
„	{ 10,47				
Phosphor			16,386		
„		16,461			
„	{ 16,521				
„	{ 16,520				
„	{ 16,521				
„					16,294
Nickel					16,83
Kobalt					30,70
Eisen					33,45

39. Wir wenden uns nun zu einer Zusammenstellung der gewonnenen Resultate.

1. Eisenoxyd $\ddot{\text{E}}$.

Dieses Oxyd, chemisch rein von Dr. C. Stammer dargestellt, ist dasselbe, dessen ich mich früher, als Vergleichungspunktes, bei der Bestimmung des specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases bedient habe. Das mit eingeschliffenen hohlen Glasstöpseln versehene Fläschchen I bleibt mit demselben fortwährend gefüllt und dient als »Normalfläschchen« zur Vergleichung der Kraft des Elektromagneten.

a. Normalfläschchen.

40. Tarirgewicht des leeren Fläschchens 2^{gr},0325

Anziehung desselben bei einer Kette

von sechs Elementen 0 ,014

Tarirgewicht des gefüllten Fläschchens 9 ,937.

Das Gewicht des Oxyds findet sich hiernach 7^{gr},904.

Die Anziehung des leeren Fläschchens kann hier vernachlässigt werden, um so mehr als sie größtentheils auf die Luft kommt, welche von dem Oxydpulver verdrängt wird.

Wir stellen in der folgenden Tabelle die, verschiedenen Beobachtungsreihen entnommenen, Gewichte zusammen, bei welchen das Normalfläschchen von den Polen abgezogen wurde.

Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
1.	2.	3.	4.	
^{gr} { 10,59	^{gr} { 12,03	^{gr} 13,48		
{ 10,61	{ 12,01			
10,61	11,99	{ 13,44		
		{ 13,45		
10,58	{ 11,93	{ 13,43		
	{ 11,94	{ 13,46		
10,62	{ 12,17	13,64		
	{ 12,19			
10,62	{ 12,11	13,61		
	{ 12,11			
10,63	{ 12,06	{ 13,62	{ ^{gr} 14,65	{ ^{gr} 15,85
	{ 12,05	{ 13,57		
10,65	{ 12,05	{ 13,72		
	{ 12,06	{ 13,74		
10,635	12,11	13,63	14,66	16,05

Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
1.	2.	3.	4.	
^{gr} 10,60	^{gr} 12,10	^{gr} 13,60		
10,59	12,10			
10,59	12,04			
10,63	12,10	13,70	^{gr} 14,68	

Mittlere VVerthe:

10,611	12,062	13,612	14,648	15,950
--------	--------	--------	--------	--------

Ziehen wir von diesen Werthen ^{gr}9,937 ab, so kommt für die magnetische Anziehung des Oxyds

0,674	2,125	3,675	4,711	6,023
-------	-------	-------	-------	-------

Die Gewichte, die der einfachen Stromstärke entsprechen, sind Mittelwerthe wenig von einander abweichender Beobachtungen, bei denen nach einander 3 bis 9 verschiedene, aber gleich gebrauchte, Tröge angewandt wurden. Ein Blick auf die vorstehenden Zahlen scheint zu zeigen, daß diese Gewichte, welche verhältnißmäßig von einem Tage zum anderen mehr von einander abweichen, als bei stärkerer Stromstärke, dann größer sind, wenn der angewandte Trog bereits einer stärkeren Kette angehört hat. Im Allgemeinen scheinen *alle* Anziehungen etwas zugenommen zu haben, was wahrscheinlich in einer größeren Zusammendrückung des sehr feinen Oxydpulvers in Folge der fortwährenden Erschütterungen seinen Grund hat.

Die vorstehenden Anziehungen des Eisenoxyds geben die folgenden Verhältnißzahlen:

$$1 : 3,15 : 5,45 : 6,99 : . . : 8,94$$

$$1 : 1,75 : 2,22$$

$$1 : 1,27.$$

b. Fläschen II.

41. Taringewicht des leeren Fläschchens	1 ^r ,884
Anziehung desselben bei einer Kette	
von sechs Elementen	0 ,010

Taringewicht des mit Oxyd gefüllten Fläschchens	10 ,824
---	---------

Die Anziehung des leeren Fläschchens ist hiernach zu vernachlässigen. Das Eisenoxyd wiegt 8 ,940.

Stromstärke =		
1.	2.	3.
^{gr} 11,565	^{gr} 13,03	^{gr} { 14,76 14,71
{ 11,52 11,51 11,53	{ 13,02 13,00 13,01 13,00 12,99 13,00	{ 14,52 14,57 14,58
Mittelwerthe:		
11,528	13,007	14,628
Magnetische Anziehung des Oxyds.		
0,704	2,183	3,804

Daraus leiten sich für die Anziehungen bei den verschiedenen Stromstärken folgende Verhältniszahlen ab:

$$1 : 3,10 : 5,40$$

$$1 : 1,79.$$

Der Unterschied zwischen diesen Verhältniszahlen und den früheren ist so klein, daß er, als innerhalb der Beobachtungsfehler fallend, anzusehen ist.

42.

2. Nickeloxyd,

von Hrn. Dr. C. Stammer rein dargestellt, wurde in das Fläschchen II bis zu der Marke des engeren Halses eingefüllt.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen . . . 14^{gr},296

und hiernach Gewicht des Oxyds . . . 12 ,412.

Die folgende Tabelle giebt die zum Abziehen erforderlichen Gewichte.

Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
1.	2.	3.	4.	
^{gr} 14,67 { 14,67 14,67 14,67 14,66 14,655	^{gr} 15,60 15,59 { 15,54 15,53	^{gr} 16,56 { 16,64 16,57	^{gr} { 17,23 17,26 17,18	^{gr} 18,05

Mittelwerthe:

^{gr}14,666 | ^{gr}15,565 | ^{gr}16,590 | ^{gr}17,323 | ^{gr}18,050

Hieraus ergibt sich für die magnetische Anziehung des Nickeloxys

0,370 | 1,269 | 2,294 | 2,927 | 3,754

und daraus folgen die nachstehenden Verhältniszahlen:

1 : 3,43 : 6,20 : 7,88 : . . : 10,15

1 : 1,81 : 2,30

1 : 1,27.

3. Kobaltoxyd-Hydrat¹⁾.

43. Das chemisch reine Hydrat hatte Hr. Dr. Boediker die Güte für mich darzustellen. Dasselbe wurde bei einer Temperatur, welche 100° C. nicht viel überstieg, im Sandbade getrocknet und dann zu möglichst feinem Pulver zerrieben, in das Fläschchen II gefüllt.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen ^{gr}85,335

mithin Gewicht der Füllung 6,454.

Die folgende Tabelle giebt die zum Abziehen des Fläschchens von den Polen erforderlichen Gewichte.

Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
1.	2.	3.	4.	
^{gr} 9,82	^{gr} 13,90	^{gr} 19,52	^{gr} 23,28	^{gr} 28,21
{ ^{gr} 9,80	^{gr} 14,03	^{gr} 19,62		
^{gr} 9,77				

Mittelwerthe:

9,797 | 13,965 | 19,57 | 23,28 | 28,21

Hieraus ergibt sich für die magnetische Anziehung des Kobaltoxydhydrats:

1,46 | 5,63 | 11,29 | 14,85 | 19,78

- 1) Die Bestimmung der Kobaltoxyde, die in magnetischer Hinsicht Analogien mit den Eisenoxiden darbieten, bleibt einer spätern Mittheilung vorbehalten. Ich habe das Hydrat nur darum hier aufgeführt, weil es, ungeachtet seines stärkern specifischen Magnetismus, dennoch einen geringern magnetischen Widerstand zeigt als alle übrigen hier aufgeführten und noch aufzuführende magnetische oder diamagnetische Substanzen.

und daraus leiten sich die nachstehenden Verhältniszahlen ab:

$$1 : 3,85 : 7,73 : 10,17 : . . . : 13,55$$

$$1 : 2,01 : 2,64$$

$$1 : 1,31.$$

4. Wismuth.

44. Das Wismuth nahm ich von jenen ausgezeichnet schönen Krystallen, die in Paris (*rue de l'Ecole de medecine*) durch oft wiederholte Umkrystallisirung mittelst Schmelzung erhalten und von da aus vielfach verbreitet worden sind. Die Krystalle wurden möglichst fein gepulvert, in das Fläschchen II. bis zur bestimmten Marke eingefüllt und dann mit dem eingeschliffenen hohlen Glasstöpsel verschlossen.

Tarirgewicht für das Fläschchen vor der Füllung	1 ^{er} ,884
für das gefüllte Fläschchen	56 ,556
mithin Gewicht des Wismuths	54 ,672.

Die folgende Tabelle giebt die Gewichte, bei welchen das auf den Polen aufliegende Fläschchen anfang, sich von denselben zu entfernen. Die Resultate zweier Beobachtungsreihen, die an zwei an einander folgenden Tagen gemacht wurden, waren:

Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
1.	2.	3.	4.	
56,42 ^{gr}	{ 56,07 ^{gr}	{ 55,63 ^{gr}	{ 55,32 ^{gr}	54,92 ^{gr}
	{ 56,07	{ 55,63	{ 55,33	
56,425	{ 56,075	{ 55,625		
	{ 56,07	{ 55,635		

Mittelwerthe:

56,422	56,071	55,630	55,325	54,920
--------	--------	--------	--------	--------

Hieraus findet sich die diamagnetische Abstofsung des Wismuths

0,134	0,485	0,926	1,231	1,636
-------	-------	-------	-------	-------

und daraus erhalten wir die nachstehenden Verhältnisszahlen:

$$1 : 3,62 : 6,91 : 9,19 : . . : 12,21$$

$$1 : 1,91 : 2,51$$

$$1 : 1,31.$$

Am zweiten Tage war das Gewicht des Wismuths unverändert gefunden worden. Da genaue Zahlen mir gerade in diesem Falle sehr wünschenswerth erschienen, so wurden nach einem Zwischenraum von ein paar Tagen den beiden obigen Beobachtungen noch sechs neue hinzugefügt. Die Resultate erwiesen sich aber unbrauchbar, weil das Fläschchen mit Wismuth nicht jedesmal, vor Bestimmung der diamagnetischen Abstossung desselben, von Neuem tarirt worden war. Das Versehen wurde erst entdeckt, als, 10 Tage nach der Füllung, das Gewicht des Wismuths bereits um 0^{er},048 zugenommen hatte. Dasselbe hatte angefangen durch langsam eindringende Luft sich zu oxydiren. So wie die ursprünglichen Krystalle mit einer dünnen, die schönsten Farben zeigenden Oxydschicht überzogen waren, so hatten auch die im oberen Raume des Fläschchens befindlichen feinen Wismuththeilchen ihr Ansehen durch eine Oxydation ihrer Oberfläche geändert.

5. Phosphor.

45. Der Phosphor wurde unter Wasser geschmolzen und soviel desselben unter Wasser in das Gefäß II. gegossen, bis er etwa ein Millimeter unterhalb der festen Marke am engeren Halse desselben stand. Ueber demselben befand sich Wasser bis etwa ein Millimeter oberhalb der Marke, so daß das Gewicht der Füllung sehr nahe dem Gewichte des Phosphors, wenn er bis zur Marke reichen würde, gleich war. Da der Stöpsel nicht vollkommen schloß, so wurde das Fläschchen vor jeder Bestimmung tarirt. In der nachstehenden Tabelle ist das Tarirgewicht zugleich mit dem Gewichte, bei welchem das Fläschchen die Pole verläßt, aufgeführt.

Tarirgewicht.	Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
	1.	2.	3.	4.	
^{gr} 16,581	^{gr} 16,557	^{gr} 16,490	^{gr} 16,418		
16,580	16,5561	16,490	16,417		
16,5435	16,5206	16,461	16,386	^{gr} 16,322	^{gr} 16,244

Diamagnetische Abstufungen.

0,024	0,091	0,163		
0,025	0,090	0,163		
0,023	0,0825	0,157	0,2215	0,2995

Mittelwerthe.

0,024	0,088	0,1615	0,2215	0,2995
-------	-------	--------	--------	--------

Hieraus leiten sich die nachstehenden Verhältniszahlen ab:

$$1 : 3,67 : 6,73 : 9,23 : . . : 12,49$$

$$1 : 1,84 : 2,52$$

$$1 : 1,37.$$

Das Gewicht des Phosphors ergibt sich mit hinlänglicher Annäherung:

$$14^{\text{gr}},68.$$

Eisen, Kobalt, Nickel.

46. Für die stark magnetischen Metalle, die in feinstem Pulver mit einer Mischung von Schmalz und Wachs verrieben wurden, waren drei, etwas stärkere Fläschchen III., IV. und V. bestimmt, mit kürzerem und weiterem Halse. Sie wurden sorgfältig gefüllt, am folgenden Tage, nachdem die Mischung sich zusammengezogen hatte, nachgefüllt und abgestrichen. Die Bestimmung der drei leeren Fläschchen ergab

Tarirgewicht.	Anziehung bei der Stromstärke =		
	1.	2.	3.
^{gr} 3,591	^{gr} 0,028	^{gr} 0,1005	^{gr} 0,169
2,247	0,019	0,067	0,113
3,167	0,029	0,100	0,1525

Diese Anziehungen heben sich zum größten Theil auf, wenn die Fläschchen mit der Schmalz- und Wachsmischung

ohne Metall gefüllt werden. Wir begehen keinen merklichen Fehler, wenn wir die beobachteten Anziehungen ganz auf das zu untersuchende Metall rechnen.

6. Eisen.

47. Das Eisen war aus dem Normaloxyde (1) durch Wasserstoffgas in der anfangenden Rothglühhitze reducirt und in einer zugeschmolzenen Glasröhre aufbewahrt worden. Es wurden innigst gemengt

Schmalzmischung 24^{gr},97

Eisenpulver 0 ,1450,

so dafs im Gemenge sich

0^{gr},5773

Proc. Eisen befand.

a. Fläschchen III.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen 9^{gr},429

also Gewicht der Füllung 5 ,838

und des darin enthaltenen Eisens . . . 0 ,0339.

Das Fläschchen wurde von den Polen abgezogen durch die folgenden Gewichte

Stromstärke ==				Kette von 16 Elem.
1.	2.	3.	4.	
^{gr} 12,96	^{gr} 19,38	^{gr} 24,99		
13,00	19,15	25,06	^{gr} 28,85	^{gr} 33,45
12,97	19,14	24,98		

Mittelwerthe:

12,98 | 19,22 | 25,01 | 28,85 | 33,45

Hieraus ergibt sich die magnetische Anziehung des Eisens

3,55 | 9,79 | 15,58 | 19,42 | 24,02

und daraus leiten sich die folgenden Verhältniszahlen ab

1 : 2,76 : 4,39 : 5,56 : . . : 6,77

1 : 1,59 : 2,01

1 : 1,27.

7. Kobalt.

48. Ein Theil der größeren Menge reinen Kobalt-oxydhydrats wurde geglüht und dann in einer Röhre von schwerflüssigem Glase, wie das Eisen, nur unter stärkerer Erhitzung mittelst des Blasetisches, durch Wasserstoffgas reducirt. In diesem Glase erkaltet, wurde es in einem Achatmörser möglichst fein gepulvert und dann mit der Schmalzmischung verrieben.

Schmalzmischung 25^{gr},00
 Kobaltpulver 0 ,1435,
 so daß das Gemenge
 0^{gr},5707

Proc. Kobalt enthielt.

Fläschchen IV.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen 8^{gr},690
 also Gewicht der Füllung 6 ,423
 und des darin enthaltenen Kobalts . . 0 ,03689.

Die Abziehung des Fläschchens erfolgte bei den nachbenannten Gewichten.

Stromstärke =				Kette von 16 Elem.
1.	2.	3.	4.	
5 ^{gr} 12,43				
12,40				
12,53				
12,41				
12,42				
Mittel				
12,50				
12,44	5 ^{gr} 18,62	5 ^{gr} 23,95		
12,41				
Mittel				
12,38	18,50	23,65	5 ^{gr} 27,29	5 ^{gr} 30,70
12,30	18,15	23,35		

Magnetische Anziehung des Kobalts.

3,75	9,93	15,26		
3,69	9,81	14,96	18,60	22,01
3,61	9,46	14,66		

Mittelwerthe:

3,86	9,73	14,96	18,60	22,01
------	------	-------	-------	-------

woraus sich die nachstehenden Verhältniszahlen ergeben:

$$1 : 2,65 : 4,08 : 5,05 : \dots : 598$$

$$1 : 1,54 : 1,92$$

$$1 : 1,24.$$

Die beiden ersten Beobachtungen wurden an zwei auf einander folgenden Tagen angestellt, die dritte fiel ein paar Tage später. Die magnetischen Anziehungen zeigen unzweideutig, daß das Kobalt chemisch nicht ganz unverändert geblieben ist. Darum haben wir diese Anziehungen für jede Beobachtung einzeln genommen; wenn sich um die absolute Anziehung des Kobalts handelt, werden wir die erste Beobachtung zu Grunde legen. Die chemische Veränderung des Kobalts ist aber so gering, daß wir die Verhältniszahlen aus der mittleren Anziehung ableiten zu dürfen geglaubt haben.

b. Fläschchen III.

49. Dasselbe Kobaltgemenge.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen 9^{sr},510
also Gewicht der Füllung 5 ,919.

	Stromstärke		
	1.	2.	3.
Anziehung	3 ^{sr} ,59	9 ^{sr} ,47	14 ^{sr} ,39

Hieraus ergeben sich die folgenden, den früheren gut entsprechenden Verhältniszahlen:

$$1 : 2,64 : 4,01.$$

8. Nickel.

50. Das Metall ist durch Hrn. Dr. C. Stammer aus dem chemisch reinen oxalsauren Salze dargestellt worden.

Schmalzmischung 24^{sr},98

Nickelpulver 0 ,1564,

so daß in dem Gemenge sich

0^{sr},6222

Proc. Nickel befindet.

a. Fläschchen V.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen 8^{gr},893
 mithin Gewicht der Füllung 5 ,726
 und des in derselben enthaltenen Nickels 0 ,03575.

Das Fläschchen wurde von den Polen durch die nach-
 stehenden Gewichte abgezogen.

Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
1.	2.	3.	4.	
10,52 ^{gr}	12,83	14,58	15,68 ^{gr}	16,83 ^{gr}
10,51				
10,52				
10,52				
10,54	12,72	14,55	15,68	16,83
10,49				
10,52				
10,47				

Mittelwerthe:

10,511 | 12,775 | 14,565 | 15,68 | 16,83

Die resultirenden Anziehungen sind

1,62 | 3,88 | 5,67 | 6,79 | 7,94

was die folgenden Verhältniszahlen giebt:

1 : 2,40 : 3,50 : 4,19 : : 4,90

1 : 1,48 : 1,75

1 : 1,21.

b. Fläschchen III.

51. Dasselbe Nickelgemenge.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen . 9^{gr},584
 also Gewicht der Füllung 5 ,993.

Stromstärke =		
1.	2.	3.
Anziehung 1,83 ^{gr}	4,24 ^{gr}	6,21 ^{gr}

woraus sich die folgenden Verhältniszahlen ergeben:

1 : 2,43 : 3,39.

9. Sauerstoffgas.

52. Zu diesen Bestimmungen diente dieselbe Kugel
 mit Glashähnchen, die ich früher schon bei meinen Ver-
 Poggendorff's Annal. Bd. XCI.

suchen über das magnetische Verhalten der Gase angewendet habe. Das Sauerstoffgas wurde in gleicher Weise entwickelt und, nachdem die Kugel mit diesem Gase zuvor ausgewaschen, in dieselbe hineingebracht und zwar um etwa $\frac{1}{10}$ Atmosphärendruck comprimirt, um sicher zu seyn, daß keine Luft eindringen sondern höchstens etwas Sauerstoffgas entweichen könnte. Daß letzteres keinesweges stattfand, bewiesen die Abwägungen

Tarirgewicht für die leere Kugel . . . 2^{gr},8353
 für die gefüllte Kugel 2 ,9026
 mithin Gewicht des Sauerstoffgases . . 0 ,0673.

Die *leere* Kugel zeigte keinen bestimmbar magnetismus. Die zum Abziehen der Sauerstoffkugel erforderlichen Gewichte, die sich genau und mit der größten Sicherheit durch Hülfe des 0^{gr},01 schweren Reuters bestimmen ließen, waren die folgenden:

Stromstärke =				Kette von - 16 Elementen.
1.	2.	3.	4.	
^{gr} 2,9051	^{gr} 2,9113	^{gr} 2,9195		
2,9051	2,9115	2,9201	^{gr} 2,9260	^{gr} 2,9331
2,9049				
2,9048				
2,9050				

Mittelwerthe:

2,9050 | 2,9114 | 2,9198 | 2,9260 | 2,9331

Hieraus ergibt sich für die magnetische Anziehung des Sauerstoffgases

0,0024 | 0,0089 | 0,0172 | 0,0234 | 0,0305

was zu den folgenden Verhältniszahlen führt

1 : 3,71 : 7,17 : 9,75 : . . . : 12,71

1 : 1,93 : 2,63

1 : 1,36.

§. 3.

Discussion der erhaltenen Resultate und allgemeine
Folgerungen.

53. Die numerischen Resultate, die wir im vorigen Paragraphen mitgetheilt haben, lassen sich übersichtlich durch Curven darstellen. Diese Curven sind unmittelbarer Ausdruck der Beobachtung, unabhängig von jeder Hypothese und jeder theoretischen Auffassung.

Die Coordinaten der Punkte dieser Curven geben die Anziehung, welche die untersuchten Substanzen durch den Elektromagneten erleiden, die Abscissen derselben, die entsprechende Stromstärke, welche zur Erregung des Elektromagneten angewendet worden ist. Als Einheit der Stromstärke nehmen wir die Stromstärke eines unserer Grove'schen Elemente, wenn dasselbe durch den langen und dicken Draht, welcher um den Eisenkern unseres Elektromagneten gewickelt ist, geschlossen wird; als Einheit der Anziehung für *jede* der verschiedenen von uns untersuchten Substanzen diejenige, welche bei der Einheit der Stromstärke, also, bei Anwendung eines Grove'schen Elementes, stattfindet. Die Einheit der Anziehung ist also für verschiedene Substanzen eine verschiedene.

54. Hiernach gehen alle Curven durch den Anfangspunkt der Coordinaten, *O*, weil Stromstärke und Anziehung gleichzeitig verschwinden, und durch einen zweiten Punkt, *M*, welcher den Einheiten der Stromstärke und der Anziehung entspricht. Außerdem geben unsere Beobachtungen unmittelbar noch drei andere Punkte jeder einzelnen Curve, welche der doppelten, dreifachen und vierfachen Stromstärke entsprechen. Endlich ist noch ein letzter entfernter liegender Punkt jeder Curve, welcher der Anwendung einer Kette von 16 einzelnen Grove'schen Elementen entspricht, bestimmt worden. Um jedoch diesen Punkt construiren zu können, müssen wir zuvor die Stromstärke einer solchen durch denselben Leitungsdraht geschlossenen Kette in der von uns angenommenen Einheit ausdrücken.

55. Es ist hierbei unerläßlich, das Verhältniß des Widerstandes in dem Schließungsdrahte zu dem Widerstande in unsern Grove'schen Elementen zu kennen. Aber wir können uns auch hier, wie bisher, jeder directen Messung solcher Widerstände überheben. Zu diesem Ende schalte ich hier die Beobachtung ein, welche den im vorigen Paragraphen mitgetheilten Beobachtungen unmittelbar vorherging, und durch welche, unter genau denselben Umständen wie später, die Anziehung des mit dem Eisenoxyde gefüllten Normalfläschchens bestimmt wurde, wenn nach einander der Strom durch eine Kette von sechs Elementen durch eine Kette von drei derselben, durch eine Kette von zwei der übrigen und endlich durch das letzte Element allein, hervorgerufen wurde. Diese Anziehungen betragen in umgekehrter Aufeinanderfolge

0^{sr},663 1^{sr},913 3^{sr},113 4^{sr},913

also, auf unsere Einheit bezogen

1,00 2,88 4,69 7,41.

Wenn wir diese Werthe als Ordinaten der Curve für Eisenoxyd (Taf. I, Fig. 1, Curve IV) betrachten, so finden wir aus der Construction für die, durch die entsprechenden Abscissen dargestellten Stromstärken

1 1,85 2,65 4,35.

Nach dem Ohm'schem Gesetze sind diese Stromstärken in unserer Einheit ausgedrückt durch

$$1 \quad \frac{1+\omega}{1+\frac{1}{2}\omega} \quad \frac{1+\omega}{1+\frac{1}{3}\omega} \quad \frac{1+\omega}{1+\frac{1}{6}\omega}$$

wobei ω die zu bestimmende Constante ist, welche ausdrückt, wie viel Mal der Widerstand im Schließungsdrahte größer ist als in dem einzelnen Elemente. Setzen wir

$$\omega = 12$$

so geben die letzten Ausdrücke die nachstehenden Zahlen

1 1,86 2,60 4,33

Stromstärken, welche sämmtlich mit den aus der Construction abgeleiteten gut stimmen.

Für eine Kette von 16 Elementen giebt der so bestimmte Werth von ω die Stromstärke

7,43.

Somit können wir alle unsere Curven bis zu diesem Abscissenwerthe fortführen. ¹⁾

56. In der ersten Figur sind die Curven für *Nickel* (I), *Kobalt* (II), *Eisen* (III), *Eisenoxyd* (IV), *Nickeloxyd* (V), *Wismuth* und *Phosphor* (VI), für *Sauerstoffgas* (VII), und endlich für *Kobaltoxydhydrat* (VIII) zusammengestellt. Die Curven für Wismuth und Phosphor, der beiden einzigen von uns vollständig bestimmten diamagnetischen Substanzen, fallen so nahe zusammen, daß sie, mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Beobachtungsfehler, als eine einzige construirt worden sind. Diese Curve ist in der Zeichnung von den übrigen unterschieden worden, weil ihre Ordinate diamagnetische Abstofsung, statt magnetischer Anziehung, bedeuten; es erschien nicht angemessen ihnen aus diesem Grunde eine entgegengesetzte Lage zu geben.

57. Das endliche Ziel, das wir erstreben, besteht darin, daß wir die Anziehung, die eine gegebene Substanz erleidet, als Function der auf sie einwirkenden magnetischen Kraft, nicht als Function der Stromstärke, welche diese Kraft hervorruft, bestimmen. Es kommt dieses darauf hinaus, daß wir unsere Curven so umformen, daß die zu jeder Ordinate gehörige Abscisse nicht mehr, wie bisher, die Stromstärke, sondern die, dieser Stromstärke entsprechende auf die untersuchte Substanz ausgeübte Kraft des Elektromagneten bedeutet. Als Einheit dieser magnetischen Kraft nehmen wir diejenige, welche durch ein Grove'sches Element hervorgerufen wird.

1) Ich habe es bei den Bestimmungen des vorigen Paragraphen für überflüssig gehalten, eine Tangentenboussole einzuschalten oder ein anderes directes Verfahren anzuwenden, um die Constanz der Stromstärke zu constatiren. Es war vollkommen hinreichend und unserem speciellen Zwecke mehr entsprechend, die Constanz der magnetischen Kraft durch die Anziehung, welche der Elektromagnet auf das mit dem Eisenoxyde gefüllte Normalfläschchen ausübt, nachzuweisen. Die Erörterungen der 55. Nummer zeigen, daß wir auch vermittelst der Curve IV unsere Stromstärken vergleichen und messen können und daß diese Curve, für unsere Zwecke, Apparate, die zum Messen der angewandten Stromstärken dienen, in jeder Hinsicht ersetzt.

58. Hiernach würden die neuen Curven mit den alten zusammenfallen, wenn im Kerne des Elektromagneten kein Widerstand sich fände, das heisst, wenn die auf die untersuchte Substanz wirkende magnetische Kraft der Stärke des zu ihrer Hervorrufung angewandten Stromes proportional wäre. Unter derselben Voraussetzung würde, wenn es eine Substanz gäbe, welche keinen Widerstand darböte, die dieser Substanz entsprechende Curve eine Parabel seyn (IX), deren Ordinate die Quadrate der Abscissen sind. Gäbe es endlich eine Substanz, die mit Magnetismus gesättigt wäre, die immer dasselbe Maass von Magnetismus behielte, so ginge die entsprechende Curve in eine gerade Linie (X) über. In der Wirklichkeit, wo die magnetische Erregung der Stromstärke *nicht* proportional ist, verwandelt sich jene Parabel und diese gerade Linie, indem die Abscissen ihre ursprüngliche Bedeutung behalten, in zwei solche Curven, welche die beiderseitigen Gränzen der Curven Gruppe I bis VIII bilden.

59. Ich wende mich zunächst zu einigen geometrischen Erörterungen über diese Curven-Gruppe.

Wenn es sich ergäbe, dass Kobaltoxydhydrat, welches unter den bisher untersuchten Substanzen den *geringsten* magnetischen Widerstand zeigt, *gar keinen* Widerstand darböte — eine Annahme, die übrigens keinesweges wahrscheinlich ist — so müfste die Curve VIII mit der Parabel IX zusammenfallen, wenn wir von den ursprünglichen Abscissen zu den neuen übergingen, und dann wäre VIII eine der fraglichen Gränzcurven. Dann könnten wir überhaupt jede Curve, die in dem einen der beiden Systeme gegeben ist, in die entsprechende Curve des andern Systems umformen. Wir wollen insbesondere, in der gemachten Voraussetzung, die gerade Linie X in dem zweiten Systeme in die entsprechende Curve des ersten Systems umformen. Nehmen wir zu diesem Ende irgend zwei solche Punkte, Q und Q' , auf der Parabel und der Curve VIII an, die gleiche Ordinaten, QP und $Q'P'$ haben, so sind die zugehörigen Abscissen OP und OP' , zwei einander

entsprechende Abscissen in dem zweiten und ersten Systeme. Der Punkt q der geraden Linie OP , welcher auf der Linie X , der Abscisse OP entspricht, giebt hiernach, indem wir eine gerade Linie parallel mit der Abscissenaxe ziehen, sogleich den Punkt q' der zu construirenden Curve, welcher der Abscisse OP' entspricht. Auf diesem Wege erhalten wir unmittelbar beliebig viele Punkte einer Curve XI , welche, in der Voraussetzung, daß Kobaltoxydhydrat keinen magnetischen Widerstand darböte, einer mit Magnetismus gesättigten Substanz angehören würde. In dieser Voraussetzung wären also VIII und XI die beiden Gränzcurven, zwischen welchen die Curve für jede neu zu untersuchende Substanz nothwendig hindurch gehen müßte.

60. Die Curve XI müßte, wenn sie wirklich die untere Gränzcurve wäre, selbst zu den Curven unserer Gruppe gehören und den allgemeinen Lauf dieser Curven haben, insbesondere keine der anderen Curven je schneiden. Diese Curve ist aber nur eine Gränze, *unter* welcher die wirkliche Gränzcurve *nicht* liegen kann. Diese kann nur höher liegen, sie darf aber auch, über den Punkt M hinaus, für wachsende Stromstärken, die gerade Linie X nicht schneiden.

Von dieser Curve, die Substanzen entspricht, die mit Magnetismus gesättigt sind, können wir durch dieselbe Construction, die wir oben angewandt haben, zu der obern Gränzcurve, der Curve keines Widerstandes, zurückgehen. Wäre XI diese Curve, so kämen wir zu der Curve VIII zurück. Es ist von vorne herein klar, daß die für irgend eine Substanz gefundene Curve nie die untere Gränzcurve erreichen kann, am wenigsten wenn die Substanz, wie Nickel, ohne ursprünglichen Magnetismus, bald schon so stark magnetisch wird. Auch hält die Curve, welche der Curve für Nickel, wenn wir diese als untere Gränzcurve nehmen, als obere Gränzcurve entspricht, keinesweges den allgemeinen Lauf unserer Curvengruppe ein. Die wahre untere Gränzcurve liegt also zwischen den Curven I und XI. Nach den vorstehenden Bemerkungen werden diese Gränzen noch viel enger gezogen und wir machen keinen großen Fehler, wenn

wir für diese Curve die Curve XII nehmen und dann die entsprechende obere Gränzcurve, wofür wir die Curve XIII erhalten, construiren.

Diese Annahme werden wir den nachfolgenden Rechnungen zu Grunde legen und durch dieselben gerechtfertigt finden. Die Curven XII und XIII sind also unsere *wahren Gränzcurven*; sollten spätere Beobachtungen und sorgfältigere Rechnungen eine Modification dieser Curven verlangen, so müssen beide Gränzcurven zugleich höher oder tiefer rücken, die obere aber bedeutend mehr, als die untere.

61. Die Curve XIII, die in dem ursprünglichen Coordinaten-Systeme, wo die Abscissen Stromintensitäten bedeuten, die relative Zunahme der magnetischen Anziehung als Function von diesen giebt, hat noch eine zweite Bedeutung. Die Anziehung einer Substanz durch den Elektromagneten ist nämlich als das Product der magnetischen Erregung dieses letztern und des in der Substanz hervorgerufenen Magnetismus zu betrachten. Wenn also eine Substanz mit Magnetismus gesättigt ist, so ist diese Anziehung der Intensität der magnetischen Kraft des Elektromagneten proportional. Setzen wir demnach diejenige Intensität dieser Kraft, die der Einheit der Stromstärke entspricht, ebenfalls der Einheit gleich, so stellt die Curve XIII sowohl die relative Zunahme der magnetischen Anziehung der fraglichen Substanz, als auch der magnetischen Kraft des Elektromagneten als Function der Stromstärke dar.

62. Auf diesem Wege sind wir glücklicher Weise der Nothwendigkeit überhoben, irgend ein theoretisches Gesetz über die Abhängigkeit der Kraft des Elektromagneten von der angewandten Stromstärke zu Grunde zu legen. Es steht nicht zu erwarten, daß ein Gesetz dieser Art, wenn es auch für den einzelnen Fall der magnetischen Induction durch den galvanischen Strom seine volle Gültigkeit haben mag, auf unsern Elektromagneten eine unmittelbare Anwendung finde, weil die Wirkung desselben, in unsern Bestimmungen, hauptsächlich von den einander gegenüber-

stehenden und naheliegenden Stellen der auf den Polflächen liegenden Halbanker ausgeht und zu ihrer Hervorrufung die gegenseitige Induction dieser Halbanker überwiegend beiträgt. Wir haben im ersten Paragraphen (27, 28) ein solches Gesetz aus dem allgemeinen Gesetze der magnetischen Induction abgeleitet und zugleich, für unsere Anwendung, die Quelle der Störungen bezeichnet.

63. Ich muß hier hervorheben, daß dieses Gesetz Herrn Prof. Müller in Freiburg gehört, der zu demselben impublicite gelangte, indem er das Gesetz über die Stärke des durch den Strom in Eisenstäben von verschiedener Dicke hervorgerufenen Magnetismus, aus Messungen ableitete. ¹⁾ Dieses Gesetz wurde von den Herren Buff und Zaminer, welche, wie früher die Herren Lenz und Jacobi, die Proportionalität von Stromstärke und erregtem Magnetismus behaupteten, bestritten, aber von Herrn W. Weber, unter den nothwendigen Beschränkungen, aufser Zweifel gesetzt. ²⁾ Für mich war es eine unerwartete Bestätigung des von mir bereits erhaltenen allgemeinen Gesetzes über magnetische und diamagnetische Induction.

Herr Müller beschränkt sein Gesetz ausdrücklich auf die magnetische Erregung, hervorgebracht durch die inducirende Kraft des galvanischen Stromes, im Gegensatze der Erregung durch eine magnetische Kraft. Er sagt nämlich:

„Lenz und Jacobi nahmen an, daß die Tragkraft der Elektromagnete dem Quadrate des erregten Magnetismus proportional seyn müsse, und diese Annahme ist auch ohne allen Zweifel richtig, nur ist die Stärke des Magnetismus nicht der Stromstärke proportional, wie dieß jetzt genügend dargethan ist.“
Fortschritte, S. 531.

- 1) Für uns war das Gesetz eine unmittelbar gebotene, rein theoretische Uebertragung, die ohne Kenntniß der interessanten Arbeit des Hrn. Müller gemacht wurde. Der erste Paragraph wurde vor längerer Zeit niedergeschrieben, nachdem zwar die Resultate des zweiten Paragraphen, aber noch nicht die vollständige Discussion derselben vorlag.
- 2) Weber, Maalsbestimmungen III. Heft S. 566. Müller, Fortschritte.

64. Wir sind im Stande die Gröfse der Abweichungen, welche für die Bedingungen, unter welchen wir unsere Bestimmungen gemacht haben, das fragliche Gesetz erleidet, zu ermitteln. Unsere Curve XII zeigt, dafs die magnetische Kraft, welche von dem grofsen Elektromagneten ausgeht, bis zur Anwendung von zwei, ja fast von drei Groveschen Elementen der Intensität des inducirenden Stromes sehr nahe proportional ist. Von da an gilt das Gesetz der Herren Lenz und Jacobi nicht mehr, aber, wie wir sogleich sehen werden, bald hört auch das neue Gesetz, welches wir durch die nachstehende Gleichung ausgedrückt haben,

$$\frac{M}{K} = \arcsin \left(\tan \frac{S}{C} \right),$$

auf, eine hinlängliche Genauigkeit zu geben.

Unsere empirische Curve giebt die nachstehenden einander entsprechenden Stromstärken und magnetischen Kräfte:

$S =$	0	1	2	3	4	7,43
$M =$	0	1	2	2,9	3,45	4

Verfahren wir wie in der 29. Nummer angegeben worden ist, so können wir die durch die letzte Gleichung dargestellte Curve bestimmen, indem wir sie der Bedingung unterwerfen, dafs sie, aufser durch den Punkt M , noch durch einen zweiten Punkt, für welche wir den Punkt

$$(S=3 \quad M=2,9)$$

nehmen wollen, gehe. Wir finden alsdann

$$\frac{1}{C} = \tan \frac{1}{K} = \tan 6^\circ 30'$$

und hiernach für die berechneten Werthe von M

0	1	1,98	2,9	3,77	5,96.
---	---	------	-----	------	-------

Wir sehen hieraus, dafs die wirklich hervorgerufene magnetische Kraft schon bei vierfacher Stromstärke hinter derjenigen Kraft, welche durch die Tangential-Curve angezeigt wird, merklich zurückbleibt und dafs für gröfsere Kräfte kaum noch von Annäherung die Rede seyn kann. Eine Aenderung der Curve XII, soweit sie nach dem Vorhergehenden etwa noch stattfinden könnte, würde hierin keinen Unterschied machen.

65. Wir sind also lediglich auf das durch die Curve XII ausgedrückte *empirische* Gesetz hingewiesen.

Nach diesem Gesetze können wir aus den Curven I—VIII der ersten Figur, welche die unmittelbaren Beobachtungen darstellen, sogleich andere Curven ableiten, *welche die beobachteten Anziehungen als Function der magnetischen Kraft des Elektromagneten ausdrücken*. Wir brauchen nur diejenigen Punkte, durch welche die ursprünglichen Curven bestimmt worden sind, mit solchen Punkten zu vertauschen, die ihre Ordinaten beibehalten, ihre Abscissen aber, welche Stromstärken, S , bedeuten, so ändern, daß sie nun die Bedeutung der entsprechenden magnetischen Intensitäten M erhalten. Auf diesem Wege finden wir die auf empirischem Wege abgeleiteten Curven der obern Gruppe der Fig. 2, Taf. I. Alle diese Curven liegen zwischen der *Parabel*, der Gränzcurve für solche Substanzen, die der Magnetisirung keinen Widerstand entgegensetzen, und der *geraden Linie*, die auf Substanzen sich bezieht, die mit Magnetismus gesättigt sind.

66. Wenn wir endlich die Ordinaten der eben beschriebenen Curven, das heist die beobachtete Anziehung der magnetischen, oder die beobachtete Abstofsung der diamagnetischen Substanzen, durch die entsprechenden Abscissen, das heist die Kraft des Elektromagneten, dividiren, so stellen die Quotienten die Intensität des in der Substanz hervorgerufenen Magnetismus dar. Und dieses ist der Fall bei beiden genannten Klassen von Substanzen, die sich nicht in der Art ihres magnetischen Zustandes, sondern nur durch die entgegengesetzte Art von Induction, welche diesen Zustand hervorruft, unterscheiden. So erhalten wir auf empirischem Wege eine neue Gruppe von Curven (die untere Gruppe von Curven der Figur 2), *welche die Intensität der in den untersuchten Substanzen durch eine magnetische Kraft hervorgerufenen Magnetismus als Function dieser Kraft darstellen*. Diese Curven werden mit aller zu verlangenden Genauigkeit durch Gleichungen von der Form.

$$\frac{J}{k} \doteq \arctan\left(\tan = \frac{M}{c}\right)$$

ausgedrückt, wobei die Abscissen M den von dem Elektromagneten aus wirkenden, die Ordinaten J den in der Substanz inducirten Magnetismus bedeuten, und k und c zwei Constanten, die für jede einzelne Substanz besonders zu bestimmen sind.

67. Um die vorstehende Behauptung zu begründen, müssen wir die Curven für die verschiedenen Substanzen berechnen. Wir nehmen dazu, außer dem Punkte M , als zweiten Punkt jeder einzelnen Curve, denjenigen, welcher der doppelten Stromstärke entspricht. Für diesen Punkt erhalten wir, wenn wir beispielsweise Eisen nehmen,

$$M = 2 \quad J = 1,38.$$

Demnach ist

$$\log \tan\left(\frac{1}{k}\right) + \log 2 = \log \tan\left((1,38) \frac{1}{k}\right)$$

woraus wir ohne Mühe, durch Hülfe der Logarithmentafeln,

$$\frac{1}{k} = 47^\circ$$

erhalten, und allgemein ist demnach

$$J = \frac{\arctan\left(\tan = M \tan 47^\circ\right)}{47^\circ}$$

wobei der Bogen des Nenners in Graden auszudrücken ist.

Für die verschiedenen untersuchten Substanzen finden wir in gleicher Weise die folgenden Werthe des Hülfswinkels $\frac{1}{k}$ in Graden ausgedrückt:

Kobaltoxydhydrat	11° 30'	Eisenoxyd	34°
Sauerstoffgas	16 36	Eisen	47
Wismuth	19 30	Kobalt	51 40'
Nickeloxyd	25 18	Nickel	68.

68. Durch diese Hülfswinkel berechnet sich leicht die Intensität des inducirten Magnetismus für jede inducirende Kraft und so ergibt sich die nachstehende Tabelle, in welcher für die in der oberen Horizontal-Column bezeichneten magnetischen Kräfte die beobachteten und berechne-

ten Intensitäten des inducirten Magnetismus zusammengestellt sind.

		Inducirender Magnetismus =				
		2.	2,9.	3,45	4.	∞
Kobaltoxydhydrat	Beob.	1,925	2,66	2,95	3,39	7,826
	Ber.	1,925	2,64	3,05	3,40	
Sauerstoffgas	Beob.	1,855	2,47	2,82	3,18	5,422
	Ber.	1,855	2,46	2,76	3,015	
Wismuth	Beob.	1,81	2,39	2,66	3,05	4,615
	Ber.	1,81	2,35	2,60	2,81	
Nickeloxyd	Beob.	1,715	2,14	2,28	2,54	3,516
	Ber.	1,715	2,15	2,31	2,46	
Eisenoxyd	Beob.	1,575	1,88	2,03	2,23	2,647
	Ber.	1,575	1,85	1,96	2,06	
Eisen	Beob.	1,38	1,51	1,61	1,69	1,915
	Ber.	1,38	1,54	1,59	1,64	
Kobalt	Beob.	1,325	1,41	1,465	1,49	1,742
	Ber.	1,325	1,445	1,49	1,525	
Nickel	Beob.	1,20	1,21	1,22	1,225	1,324
	Ber.	1,156	1,207	1,225	1,239	

69. Die Resultate der Rechnung und der Beobachtung weichen so wenig von einander ab, daß die Abweichungen innerhalb der Beobachtungsfehler fallen. Sie sind am größten für Nickel, was sich auch schon in der entsprechenden Curve der obern Gruppe der Fig 2. Taf. I. darin zeigt, daß der der Abscisse 2,9 entsprechende Punkt zu hoch liegt. Aber wir brauchen nur einen Fehler von etwa $\frac{1}{25}$ in der Bestimmung der bezüglichen Anziehung des Nickelgemisches anzunehmen — wie wir es bei der obigen Berechnung gethan haben — um selbst hier die desfallsige Nichtübereinstimmung aufzuheben. Es erscheint mir einstweilen noch nicht an der Stelle, durch einen größern Aufwand von Rechnung die Abweichungen noch zu verringern. Diese scheinen überwiegend in dem Sinne stattzufinden, daß, für wachsende Kräfte, die beobachtete Anziehung um ein Geringes gegen die berechnete zurückbleibt. Namentlich zeigt sich dieses in *regelmäßiger* Weise, wenn wir die, durch die bei weitem größere Anzahl sorgfältiger Beobachtungen erhaltene Curve für Eisenoxyd ins Auge fassen. Es würde dieser Umstand sogar die Annahme bekräftigen, daß unser

mathematisches Gesetz nicht nur ein Gesetz der Annäherung, sondern das wahre Gesetz der Natur sey, sobald wir dasselbe auf die auf einen körperlichen Punkt ausgeübte magnetische Induction beziehen. Denn offenbar müssen dann die Abweichungen von diesem Gesetze, wenn wir den Punkt mit einer endlichen Masse vertauschen, im obigen Sinne ausfallen.

Für die verschiedenen Substanzen haben wir den *Sättigungspunkt* berechnet und in der letzten Verticalcolumnne die entsprechenden Werthe von J , welche zum Ausdruck $\frac{1}{2}\pi k$ haben und für welche $M = \infty$, zusammengestellt.

70. In der nachstehenden Tafel haben wir die Werthe von $\frac{1}{c}$ und $\frac{1}{k}$, so wie die daraus abgeleiteten Werthe der Inductions-Constante λ und der Widerstands-Constante μ vereinigt. Die in der 67. Nummer zusammengestellten Bogen geben, wenn wir dieselben auf den Radius, als Einheit, beziehen die Werthe von $\frac{1}{c}$, die entsprechenden trigonometrischen Tangenten die Werthe von $\frac{1}{k}$. Ferner ist $\lambda = \frac{k}{c}$ und $\mu = \frac{1}{3k^2}$. (26; 32).

Magnetische Constanten.				
	$\frac{1}{c}$	$\frac{1}{k}$	λ	μ
Kobaltoxydhydrat	0,2035	0,2007	1,00135	0,01383
Sauerstoffgas	0,2981	0,2897	1,02896	0,02799
Wismuth	0,3541	0,3434	1,04048	0,03861
Nickeloxyd	0,4727	0,4468	1,05791	0,06654
Eisenoxyd	0,6745	0,5934	1,1367	0,11738
Eisen	1,0723	0,8203	1,3074	0,2243
Kobalt	1,2647	0,9017	1,4025	0,27105
Nickel	2,4751	1,1868	2,0855	0,4588

71. Es folgt aus dem Vorhergehenden, daß der specifische Magnetismus einer Substanz von der Gröfse der inducirenden Kraft abhängig ist, und daß die Aenderung desselben, mit dieser Kraft, für verschiedene Substanzen eine verschiedene ist. Um ihn für eine gegebene Kraft zu bestimmen, füllen wir nach einander in *dasselbe* Fläschchen

die zu vergleichenden Substanzen. So haben wir in das Fläschchen III zuerst das Eisengemenge, dann das Kobaltgemenge gefüllt und die beidesmalige Anziehung, bei Anwendung eines Grove'schen Elements, bestimmt. Daraus können wir die Anziehung berechnen, die einmal 1^{re} Eisen, das andere Mal 1^{re} Kobalt, gleichmäſig in der Form von feinstem Pulver durch den ganzen innern Raum des Fläschchens vertheilt, erfährt. Die Daten dazu liefern die 47. und 49. Nummer. Die Anziehung des Eisens, getheilt in die Anziehung des Kobalts, ist alsdann der specifische Magnetismus des letztern. Diesen Quotienten wollen wir mit 1000000 multipliciren, d. h. den specifischen Magnetismus des Eisens einer Million statt der Einheit gleich setzen. Ebenso erhalten wir den specifischen Magnetismus des Nickels aus den Daten der 47. und 51. Nummer.

Um den specifischen Magnetismus des Eisenoxyds zu bestimmen, wurde das ursprünglich mit dem Eisengemenge gefüllte Fläschchen III mit diesem Oxyde gefüllt. Das Gewicht desselben ergab

6^{re},520,

die magnetische Anziehung desselben, bei Anwendung eines Grove'schen Elementes,

0^{re},521,

nachdem von der ganzen Anziehung die Anziehung des Glases (das hier dicker genommen werden mußte, als bei den beiden Fläschchen I und II), welche 0,028 betrug, abgezogen worden war. Stellen wir diese Beobachtung mit der Beobachtung der 47. Nummer zusammen, so finden wir für den specifischen Magnetismus des Eisenoxyds die Zahl

759.

Durch die Zusammenstellung der Resultate der 40. Nummer mit den Resultaten der 42., 43., 44., 45. Nummer ergeben sich die folgenden Zahlen

0,3776 2,8718 0,0311 0,0217

für den specifischen Magnetismus des Nickeloxys, des Kobaltoxydhydrats, des Wismuths und des Phosphors, wenn wir den Magnetismus des Eisenoxyds für einen Augenblick

als Einheit nehmen. Durch Hülfe der vorübergehenden Zahl führen wir die letzten Zahlen auf andere zurück, welche sich auf die frühere Annahme beziehen, daß der Magnetismus des Eisens eine Million sey.

Wir haben in dem Vorstehenden vorausgesetzt, daß die inducirende magnetische Kraft der Einheit gleich sey. Um für andere inducirende Kräfte den specifischen Magnetismus einer Substanz zu erhalten, müssen wir die, für die Einheit der Kraft erhaltene Zahl mit $\frac{J}{J'}$ multipliciren. Wir bezeichnen hierbei durch J und J' , bei der jedesmaligen Kraft, die Intensitäten des in der zu bestimmenden Substanz und im Eisen inducirten Magnetismus. Die Tabelle der 68. Nummer giebt diese Intensitäten für die inducirenden magnetischen Kräfte 1, 2, 2,9, 3,45 und 4, denen die Stromstärken 1, 2, 3, 4 und die Stärke des Stromes einer 16elementigen Kette entsprechen. Der Werth des Quotienten $\frac{J}{J'}$ bleibt auch für unendlich große magnetische Kräfte ein endlicher, ebenso für unendlich kleine Kräfte. Im ersteren Falle ist er durch $\frac{J_{\infty}}{J'_{\infty}}$, im letztern durch $\frac{\lambda}{\lambda'}$, zu ersetzen, wobei wir J'_{∞} und λ' auf Eisen beziehen.

Hiernach ist die nachstehende Tabelle berechnet.

Spe-

Specifischer Magnetismus bei verschiedenen magnetischen Kräften.

Größe der inducirenden Kraft =

	0	1	2	2,9	3,45	4	∞
Eisen	1000 000	1000 000	1000 000	1000 000	1000 000	1000 000	1000 000
Kobalt	1082 500	1609 000	968 800	946 700	945 500	938 200	917 800
Nickel	743 100	465 800	408 500	382 200	375 700	368 400	321 900
Kobaltoxydhydrat	1 687	2 178	3 058	3 733	4 178	4 500	7 070
Eisenoxyd	660	759	866	911	935	953	1 048
Nickeloxyd	193	287	356	480	416	430	455
Wismuth	18,7	23,6	31,0	36,0	38,6	40,5	56,9
Phosphor	13,1	16,5	21,6	25,1	26,9	28,2	39,5

72. Ich knüpfe nur wenige Bemerkungen an die vorstehende Tabelle an.

Ich habe früher ¹⁾, bei Anwendung von sechs Elementen, den specifischen Magnetismus des Eisenoxyds bestimmt und für denselben

891

erhalten, während unsere Tabelle die Gränzen

660

1048

giebt. Für die damals angewandte Stromstärke, $4\frac{1}{2}$, was, wenn damals auch die Einheit der inducirenden magnetischen Kraft dieselbe als in den vorstehenden Bestimmungen gewesen wäre, für diese 3,6 geben würde, gäbe dann die Tabelle nahe

940.

Aber die frühere Einheit war kleiner, weil das frühere Glasgefäß eine dickere Wandung und eine größere Krümmung hatte. Dadurch wird die Uebereinstimmung der beidesmaligen Resultate ganz befriedigend.

Sobald wir überhaupt unsere Gefäße, in welchen die Bestimmungen gemacht werden, mit andern vertauschen, sobald wir die beiden Halbanker anders auf die Polflächen unseres großen Elektromagneten auflegen, sobald wir an einer andern Stelle die Anziehungen bestimmen — ändert sich die Einheit unserer inducirenden Kraft und somit unsere Constanten-Bestimmung. Unter verschiedenen Verhältnissen angestellte Bestimmungen werden erst vergleichbar, nachdem die fragliche Einheit vorher ermittelt worden ist.

Die Aenderung dieser Einheit durch Vertauschung der Gefäße I und II sowie der Gefäße III, IV und V, unter einander, ist nur sehr gering; sie wird für unsere Untersuchungen merklich, obwohl nicht bedeutend, wenn wir eins der beiden ersten Gefäße mit einem der drei letzten vertauschen. Darum haben wir nothwendig einen kleinen Fehler gemacht, indem wir, nachdem im Gefäße II der specifische Magnetismus von Kobaltoxydhydrat, Nickeloxyd,

1) Numerische Vergleichung des Magnetismus des Sauerstoffgases und des Magnetismus des Eisens. Ann. LXXXIII, p. 113.

Wismuth und Phosphor einerseits und Eisenoxyd andererseits, und in dem Gefäße III der specifische Magnetismus von Eisen und Eisenoxyd verglichen worden war, aus der Zusammenstellung dieser Bestimmungen den specifischen Magnetismus der zuerst genannten vier Substanzen abgeleitet haben.

Aus demselben Grunde bedarf auch meine Bestimmung des specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases ¹⁾ einer kleinen Correction, deren Sinn, bei der großen Verschiedenheit der beiden angewandten Gefäße, ich nicht von vorne herein bestimmen möchte und deren Belang jedenfalls schwer zu schätzen ist. Darum habe ich auch die früher, bei Anwendung von sechs Elementen, gefundene Zahl

3500

nicht ohne Weiteres hier aufgenommen. Wir erhalten für die extremen Werthe des specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases, bei steigender inducirender Kraft, das Verhältniß

$$1 : \frac{J_m}{J'_m} \cdot \frac{\lambda'}{\lambda}$$

indem wir J_m und λ auf Sauerstoffgas und J'_m und λ' auf Eisen beziehen, also nahe

$$1 : 3,6.$$

73. Schliesslich resumire ich die gewonnenen Resultate.

1) Für alle magnetischen und diamagnetischen Substanzen giebt ein und dasselbe allgemeine Gesetz die Intensität des inducirten Magnetismus als Function der erregenden Kraft. Für jede besondere Substanz particularisirt sich dieses Gesetz durch die Werthe zweier Constanten. Von diesen beiden Constanten giebt die eine, bei verschwindender inducirender Kraft, das Verhältniß dieser Kraft zum inducirten Magnetismus (Inductions-Constante), und die zweite bestimmt den Widerstand, welcher sich dem entgensetzt, daß der inducirte Magnetismus der inducirenden Kraft proportional wächst (Widerstands-Constante).

2) Für jede Substanz giebt es einen Sättigungspunkt,

1) S. die eben citirte Abhandlung, S. 114.

dem sie sich bei zunehmender inducirender Kraft immer mehr nähert.

3) Die diamagnetischen Substanzen (Wismuth, Phosphor) verhalten sich, bei gerade entgegengesetzter Wirkung auf die inducirenden Magnetpole, was das Gesetz über die Intensität ihrer Erregung betrifft, vollkommen ebenso wie die magnetischen Substanzen. Dieses gleiche Verhalten zwingt uns, nach meiner Ansicht, anzunehmen, daß der Zustand eines diamagnetisch erregten Körpers von dem Zustande eines magnetisch erregten, an und für sich, in keiner Weise verschieden ist, daß ferner Polarität auch bei der Erregung diamagnetischer Substanzen vorhanden ist, diese aber durch eine Induction, entgegengesetzt derjenigen, welche bei magnetischen Körpern stattfindet, hervorgerufen wird.

4) Die das Gesetz der Induction darstellenden Curven für die diamagnetischen Substanzen werden von beiden Seiten von Curven für magnetische Substanzen umgeben. Sie zeigen, daß der Widerstand, welcher sich der Erregung diamagnetischer Substanzen entgegenstellt, geringer ist als bei den meisten magnetischen Substanzen; daß er aber keinesweges verschwindet, im Gegentheile größer ist als beim Sauerstoffgase und beim Kobaltoxydhydrat. Herr W. Weber setzt den Unterschied der magnetischen und diamagnetischen Substanzen darin, daß in letztern die elektrischen Molecularströme, einmal erregt, keinen «Widerstand» finden und gründet darauf seine Theorie des Diamagnetismus. Er sagt auch, daß »kein Scheidungswiderstand« in diamagnetischen Körpern vorhanden ist.¹⁾ Darüber aber habe ich keinen Aufschluß gefunden, ob er diesen Scheidungswiderstand (der eben unser Widerstand ist) mit dem, was er schlechthin Widerstand nennt, als gleichbedeutend betrachtet, oder wenigstens das gleichzeitige Verschwinden beider im Wismuth als eine theoretische Nothwendigkeit ansieht. In diesen Voraussetzungen würden unsere Resultate mit seiner Theorie im Widerspruche seyn.

1) Maaßbestimmungen p. 543 und 545.

5) Von dem specifischen Magnetismus einer Substanz kann, in der allgemeinen Bedeutung, wie man von specifischem Gewichte spricht, *nicht* die Rede seyn. — Kobalt ist gerade so stark magnetisch als Eisen, wenn wir einer bestimmten magnetischen Kraft uns bedienen, welche, ihrer Gröfse nach, zwischen denjenigen beiden liegt, welche durch ein Grove'sches Element und durch zwei Elemente hervorgerufen werden. Bei einer größern magnetischen Kraft ist Eisen, bei einer kleinern, Kobalt *stärker* magnetisch. Vergleichen wir den specifischen Magnetismus des Kobaltoxydhydrats mit demjenigen des Nickels, so erhalten wir Zahlen, die nahe um das $2\frac{1}{3}$ fache von einander verschieden sind, je nachdem wir ein einzelnes Element oder eine Kette von 16 Elementen anwenden. Der specifische Magnetismus (Eisen als Vergleichungspunkt genommen) des Hydrats ist, bei der letztgenannten Erregung, doppelt so groß als bei der ersten. Für Sauerstoffgas und Wismuth sinkt dieses Verhältniß auf etwa 1,9 und 1,8. Hieraus erklärt sich, zum Theil, dafs, während Herr Faraday's Schätzung des Magnetismus des Sauerstoffgases, bei nahe gleicher Kraft (und gleicher Beobachtungsweise) mit meiner Bestimmung gut stimmt, andere Physiker für Sauerstoffgas und Wismuth viel kleinere Zahlen finden. ¹⁾).

6) Der Wechsel von magnetischer Anziehung und diamagnetischer Abstofsung bei Gemengen von magnetischen und diamagnetischen Substanzen erklärt sich vollständig aus der Aenderung des specifischen Magnetismus mit der Gröfse der inducirenden Kraft. — Wenn wir 10 Millionen Theile Wismuth und 310 Theile Eisen mengen und mit dem Gemenge unsere Fläschchen füllen, so beobachten wir weder Anziehung noch Abstofsung, falls wir einen Strom an-

1) Ich kann meine Bedenken gegen die Anwendung der Schwingungsmethode zur *Bestimmung des specifischen Magnetismus der Körper* nicht unterdrücken. Diese bestehen nämlich 1) in der dabei stets sich ändernden Intensität des inducirten Magnetismus und 2) in der Hervorufung endlicher elektrischer Strömungen im Innern des schwingenden Körpers, auf welche der inducirende Magnet einwirkt.

wenden, der doppelt so stark ist als derjenige, der einem Grove'schen Elemente entspricht; bei einer kleinern Kraft wird das Gemenge *angezogen*, bei einer größern *abgestoßen*. Diese Abstossung, wie jene Anziehung, können, wir für eine *gegebene Kraft berechnen*. Bei Anwendung eines Grove'schen Elementes ist die Anziehung nahe ein Drittel Mal so groß als diejenige Abstossung, welche, bei gleicher Kraft, stattfinden würde, wenn das ganze Gefäß mit Wismuth gefüllt wäre; bei Anwendung einer Kette von 6 Elementen erhalten wir, statt der eben bestimmten Anziehung, eine ihr nahe gleiche Abstossung; bei einer Kette von 16 Elementen endlich eine Abstossung, die ungefähr $\frac{2}{3}$ derjenigen ist, die reines Wismuth bei einem Elemente erfährt ¹⁾. Die Resultate würden stärker hervortreten, wenn Wismuth mit Nickel, statt mit Eisen, gemengt würde. Sie würden, bei einer Mischung mit Kobaltoxydhydrat, im entgegengesetzten Sinne auftreten; das heißt, wenn bei irgend einer Stromstärke Wismuth und das Hydrat in solcher Proportion gemengt würden, daß Abstossung und Anziehung sich aufheben, so würde, bei geringerer Stromstärke, Abstossung, bei größerer Anziehung des Gemenges stattfinden.

7. Diejenigen Substanzen, welche der Magnetisirung einen geringeren Widerstand entgegensetzen, scheinen auch den einmal angenommenen Magnetismus leichter (im Sinne des Stahls) festzuhalten. Wenigstens finde ich vom reinen Nickel angegeben, daß es keinen Magnetismus behalte, während unser Kobaltoxydhydrat dieses thut; ebenso Sauerstoffgas, das, wie ich zuerst bemerkt habe, in einer indifferenten Glaskugel durch Commutation der Pole, von dem Elektromagneten nach unserem Belieben angezogen und abgestoßen wird. Dasselbe habe ich endlich für Wismuth aus meinen Versuchen gefolgert, wogegen nur der Zwei-

1) Die genauen Verhältniszahlen sind nach der letzten Tabelle:

$$\frac{310 - 236}{236} = 0,32$$

$$\frac{405 - 310}{236} = 0,40$$

fel erhoben worden ist, ob nicht vielleicht die beobachtete Erscheinung inducirten galvanischen Strömen zuzuschreiben sey. Doch ich will hier einer späteren Mittheilung »über das Wesen der Coërcitivkraft« nicht vorgreifen.

8. Nach Abschluß der gegenwärtigen Abhandlung wurde ich darauf aufmerksam gemacht, daß Herr Lallemand, um die Intensität eines durch einen galvanischen Strom in einer Spirale hervorgerufenen Inductionsstroms auszudrücken, dieselbe Function der inducirenden Kraft gefunden hat, als nach dem Vorhergehenden sich für die Intensität des durch Induction hervorgerufenen Magnetismus ergibt ¹⁾. Diese Uebereinstimmung mußte mich überraschen. Wenn die beiderseitigen Resultate nicht bloß Annäherungsgesetze, sondern wirkliche Gesetze der Natur sind, so ist bewiesen, daß, wenn wir Magnetismus durch Ampère'sche Molecularströme erklären, diese Ströme denselben Erregungsgesetzen unterworfen sind, als endliche galvanische Ströme. Was aber auch, abgesehen von jeder Theorie, die geheimnißvolle Thätigkeit, die im galvanischen Strome einerseits, im Magnetismus andererseits sich offen-

- 1) *Ann. de Chimie et Physique* 3^{me} série, T. XXII., p. 19. In der deutschen Uebersetzung »Ueber die gegenseitige Anziehung und Abstoßung augenblicklicher Ströme« heißt es

»Nach mehreren fruchtlosen Versuchen, durch ein empirisches Gesetz das Verhalten der beiden Intensitäten mit hinreichender Annäherung auszudrücken, fand ich, daß der Bogen, dessen Tangente gleich der Intensität des inducirenden Stromes ist, mit großer Genauigkeit die Intensität des secundären Stromes ausdrückt. Wenn man bedenkt, daß die Versuche von dieser Art unter ziemlich ungünstigen Bedingungen angestellt werden, so ist die Uebereinstimmung so vollkommen, daß ich nicht anstehe, das so bestimmte Verhältniß als den wahren Ausdruck des Phänomens zu betrachten; man hat also, wenn man durch J die Intensität des inducirenden, durch D die Intensität des secundären Stromes und durch K eine Constante bezeichnet:

$$J = K T_g D.$$

Krönig Journal für Physik des Auslandes, Bd. III., p. 147.

Eine neue Prüfung dieses Resultats scheint mir sehr wünschenswerth und dann eine Wiederholung der Versuche mit Strömen, die in Drähten von verschiedenen Metallen und überhaupt von verschiedener Leitungsfähigkeit inducirt werden, in theoretischer Hinsicht von großer Bedeutung.

bart, ihrem wahren Wesen nach seyn möge: so viel steht hiernach fest, daß sie immer Aeußerung ein und derselben Naturkraft ist.

Indem ich diese Abhandlung schliesse, kann ich nicht unerwähnt lassen, daß Herr Th. Meyer mir in meinen Experimentaluntersuchungen mit unermüdlichem Eifer als Assistent behülflich gewesen ist.

Bonn, den 24. October 1853.

II. *Theorie des elektrischen Rückstandes in der Leidener Flasche; von R. Kohlrausch.*

Die Lösung eines wichtigen elektrischen Problemes machte es nothwendig, ein Gesetz für die Bildung des elektrischen Rückstandes in der Leidener Flasche aufzusuchen. Nachdem zu diesem Zwecke das in diesen Annalen Bd. 88, S. 497 beschriebene Sinuselektrometer construiert, und mit dessen Hülfe und mit Hülfe eines im gegenwärtigen Aufsatze angeführten Multiplicators das Thatsächliche der Erscheinung einem genauen Studium unterworfen war (§. 1 bis 8), ergab sich bald (§. 9), daß die bisherige Erklärungsweise schwerlich Anspruch auf Richtigkeit machen könne. Es wurde deswegen versucht (§. 10), einen anderen Grund für die Entstehung des elektrischen Rückstandes aufzusuchen, und es gelang (§. 11), auf die neuen Annahmen gestützt, ein Zahlengesetz für die Bildung desselben aufzufinden, welches zu practischen Anwendungen (§. 12) zu gebrauchen war.

Die neue Hypothese wird einer strengen Kritik bestens empfohlen, denn solche Hypothesen, welche, wie diese, durch ihre ziemlich ausgedehnte Anwendbarkeit etwas Bestechendes haben, müssen unter guter Aufsicht gehalten werden, gesetzt auch, die Anwendungen würden aus Bescheidenheit noch nicht versucht. Mag man aber auch die in §. 10

aufgestellte Erklärungsweise verwerfen, die angeführten Thatsachen und die Anwendbarkeit der Rechnung auf sie werden nicht bestritten werden, und auf diese Paragraphen mag sich also die Ueberschrift des Aufsatzes beziehen.

I.

Wenn eine Leidener Flasche geladen steht, so bemerkt man eine beständige Abnahme der Spannung an ihrem Knopfe. Bedient man sich bei dieser Beobachtung geeigneter Elektrometer, so muß es auffallen, daß diese Abnahme kurz nach der Ladung so viel beträchtlicher ist als nach Verlauf von einiger Zeit, und es entsteht die Vermuthung, daß der Erscheinung noch eine andere Ursache als der Elektricitätsverlust an die Luft zum Grunde liege.

Zur Entscheidung dieser Frage ist zunächst nöthig, die Curve, in welcher die Dichtigkeit der Elektricität an dem Knopfe der Flasche abnimmt, mit Genauigkeit zu bestimmen, um so mehr, als an diese Curve die Vermuthungen über die Natur einer anderweitigen Ursache geknüpft werden müssen. Es sind also zunächst solche Curven zu beobachten.

Will man die Beobachtung recht rein und übersichtlich erhalten, so muß man dafür sorgen, daß die Ladung der Flasche nicht allmählig, sondern daß sie momentan geschehe, damit man nicht in Ungewissheit über das bleibe, was während der allmählichen Aufhäufung der Elektricität geschieht; auch muß man ein Elektrometer anwenden, welches vom Momente der Ladung an die Spannung beobachten läßt. Das erste erreicht man, wenn man die Flasche mit einer schon geladenen Flasche oder einer Batterie aus mehreren Flaschen verbindet, das zweite, indem man sich des Sinuselektrometers bedient, und dabei das Bd. 88, S. 508, δ . dieser Annal. angegebene Verfahren einschlägt.

Um den Gang der Betrachtung nicht zu sehr zu unterbrechen, habe ich in dem Anhang I. die Beobachtungsweise für eine solche Curve, und zwar für die in der bald folgenden Tabelle α enthaltene, ausführlich geschildert, und

gebe hier nur die Resultate, dieses aber sogleich für drei verschiedene Ladungsapparate *a*, *b* und *c*, weil uns deren weitere Berechnung später dienen soll.

a. Eine gewöhnliche Leidener Flasche mit Stanniolbelegungen von etwa $\frac{1}{2}$ Quadratfuß; die Flasche in Form eines Zuckerglases.

b. Eine dicke Flasche mit engem kurzem Halse, wie sie zum Aufbewahren der Reagentien dienen. Der Hals war innen und außen in der Hitze mit Siegelack überzogen, die Flasche bis dahin mit Quecksilber gefüllt und ebenso außen mit einer zolldicken Schicht von Quecksilber umgeben. Damit die Flasche nicht schwamm, war sie durch seitlich zugespitzte eiserne Schrauben in dem cylindrischen hölzernen Troge in bestimmter Höhe festgeklemmt.

c. Eine dicke rechteckige Spiegelplatte war am Rande zwei Zoll weit von der Spiegelfolie befreit, auf der anderen Seite, der gebliebenen Folie entsprechend, mit Stanniol beklebt und der Rand beiderseitig mit Siegelack überzogen. Beim Versuche wurde sie mit der Stanniolseite auf ein Metallblech gelegt, die andere Seite aber, welche mit dem Elektrometer verbunden war, elektrisirt.

Bei diesen drei Ladungsapparaten, den beiden Flaschen *a* und *b* und der Franklin'schen Tafel *c*, war die eine Belegung sorgfältig abgeleitet, d. h. mit der nassen Erde des Gartens durch einen Draht verbunden. In den mit denselben Buchstaben *a*, *b* und *c* überschriebenen Tabellen finden sich die Resultate der Beobachtung. In der mit *t* überschriebenen Spalte ist die Zeit nach dem Momente der Ladung angemerkt, ausgedrückt in Sekunden. Die Spalte *L*, enthält die Größe der Ladung, wie sie vom Sinuselektrometer angegeben wurde.

Tab. a.		Tab. b.		Tab. c.	
t	L_t	t	L	t	L_t
0	0,4742	0	1,4968	0	0,5559
18	0,4133	5	1,4120	6	0,5266
50	0,3896	24	1,3221	43	0,4918
110	0,3692	59	1,2640	71	0,4843
160	0,3516	91	1,2256	133	0,4677
215	0,3461	114	1,2060	193	0,4566
265	0,3373	144	1,1826	256	0,4446
330	0,3290	188	1,1552	328	0,4368
382	0,3223	230	1,1326	423	0,4268
450	0,3141	282	1,1093	531	0,4166
523	0,3080	341	1,0854	620	0,4097
577	0,3029	406	1,0608	715	0,4027
680	0,2951	485	1,0354	864	0,3918
		573	1,0093		
		683	0,9823		
		804	0,9543		
		935	0,9254		
		1105	0,8954		
		1285	0,8643		
		1505	0,8317		
		1770	0,7977		
		2070	0,7622		
		2430	0,7247		
		2870	0,6851		
		3420	0,6429		
		4110	0,5977		
		4980	0,5486		
		5370	0,5266		

Die mittelste dieser Beobachtungen, nämlich die Resultate der Tafel *b* sieht man in graphischer Darstellung Fig. 2, Taf. II, in der Linie L_t . Die Curven der beiden anderen Beobachtungen sind nicht gezeichnet.

Im Ganzen haben diese Curven eine ziemliche Aehnlichkeit mit Parabeln, doch genügen sie einem constanten Parameter nur auf kürzere Strecken. Das sieht man aber auf den ersten Blick, dafs sie nicht von dem Elektricitätsverluste an die Luft herrühren können, sie sind dazu viel zu gekrümmt. Hält man sich z. B. an die Angaben der Tab. *b* und wollte annehmen, dafs allein durch den Elektricitätsverlust an die Luft die Ladung, welche im ersten Augenblicke 1,4968 nach dem willkürlichen Maafse des Sinuselektrometers betrug, in 5370 Sekunden auf 0,5266

gebracht sey, so würde in der graphischen Darstellung die Gestalt der so entstandenen Curve durch die punktirte Linie N bezeichnet seyn ¹⁾, in welcher die dickeren Punkte berechnet sind.

2.

α. Thatsache. Die Frage, welche andere Ursache als der Elektricitätsverlust an die Luft das anfänglich so rasche Herabsinken der Spannung am Knopfe der Flasche bewirkt haben könne, findet alsbald eine Art von Beantwortung, wenn wir sehen, dafs die nachher durch metallische Verbindung beider Belegungen mit der Erde vollkommen entladene Flasche nach kurzer Zeit wieder eine mehr oder weniger beträchtliche Ladung und zwar von derselben Elektricitätsart zeigt. Wir schliessen daraus, dafs ein Theil der zuerst mitgetheilten Elektricitätsmenge sich irgend wohin begeben habe oder sonst in Verhältnisse gerathen sey, wo er gar nicht mehr oder doch nur schwächer auf die Spannung am Knopfe wirken konnte und zugleich verhindert

- 1) Diefs ergibt sich so. Ist L_0 die anfängliche Ladung eines isolirten leitenden Körpers, so ist

$$dL_t = -\alpha L_t dt,$$

wobei α eine von dem Zustande der Luft abhängige Constante bedeutet. Die Integration von $t=0$ bis $t=t$ ergibt

$$\log. \text{ nat. } \frac{L_t}{L_0} = -\alpha t.$$

Hat man durch die Beobachtung

$$L_0 = 1,4968 \quad L_t = 0,5266,$$

so ist

$$\alpha = 0,0001945 \dots$$

und da andererseits

$$L_t = L_0 e^{-\alpha t},$$

so kann man die zwischen dem Anfangs- und Endzustande liegenden Ladungen für alle t leicht berechnen und eine Curve wie die punktirte der graphischen Darstellung herstellen. So ergibt sich hieraus, dafs für die Zeiten t die Curve folgende Ordinaten 0 haben müßte.

t .	0.	t .	0.
59	1,4797	2070	1,0071
114	1,4640	3420	0,7696
573	1,3389	4110	0,6714
1105	1,2073	5370	0,5266.

war, an der Entladung Theil zu nehmen, und schieben auf diesen Umstand das rasche und dem Elektricitätsverluste an die Luft nicht entsprechende Sinken der Spannung am Knopfe.

β . *Thatsache*. Ausserdem zeigt sich noch folgende Erscheinung. Hat eine Ladung längere Zeit in der Flasche gestanden und man nimmt ihr nun einen beträchtlicheren Theil der Elektricität, so daſs die Spannung sprungweise geringer wird, so sieht man unmittelbar nachher diese Spannung je nach den Umständen entweder sehr langsam sinken, oder erst stehen und dann sinken, oder meistens eine zeitlang erst steigen, dann stehen, dann erst wieder sinken.

Halten wir die Thatsachen α und β zusammen, so werden wir gezwungen seyn, die gesammte Elektricitätsmenge Q , welche sich in der Flasche befindet, in zwei Theile getheilt zu denken, von denen der eine L entladen werden kann und deswegen »die *disponible Ladung*« genannt werden soll, der andere r an der Entladung Theil zu nehmen verhindert ist und erst nach der Entfernung oder Schwächung der disponiblen Ladung ganz oder theilweise zum Vorschein kommt, d. h. sich in disponible Ladung verwandelt.

Man hat diesen zweiten Theil r das *Residuum* oder den *Rückstand* genannt und wir wollen das Wort beibehalten und mit »*verborgenem Rückstand*« diese Menge bezeichnen, während sie in der geladenen Flasche gewissermaßen verschwunden ist, mit »*wieder aufgetretenem Rückstand*« den Theil dieser Menge, welcher nach der Entladung wieder zum Vorschein gekommen ist ¹⁾.

Die Beobachtung des wieder auftretenden Rückstandes geschieht wohl am passendsten wieder mit dem Sinuselek-

1) Man würde den verborgenen Rückstand der Erscheinung gemäß recht gut »*latent*« nennen können, wenn dieses Wort nicht schon anderswo einen Zustand bezeichnete, von dem man aber gar nichts weiß. Hier aber wird mit dem verborgenen Rückstand ein ganz bestimmter Begriff verbunden werden.

trometer, indem man unmittelbar nach der Entladung der Flasche das Elektrometer mit dem Knopfe in Verbindung setzt. Dann sieht man, wie sogleich die Nadel anfängt aus dem Meridian abzuweichen und indem man durch Drehen des Gehäuses ihr folgt und die Ablenkungen abliest, ergeben sich wieder hinreichend nahe an einander gelegene Punkte, welche die Natur der Curve bestimmen durch welche die wachsende Ladung der Flasche repräsentirt wird. Die Ordinaten dieser Curve wachsen im Anfange am raschesten, so daß hier dieselbe wieder einer Parabel nicht unähnlich ist; doch tritt desto eher, je größer der Elektrizitätsverlust an die Luft ist, ein Zeitpunkt ein, wo dieses Wachsen in ein Abnehmen übergeht. Dieser Wendepunkt bezeichnet den Moment, wo das Hervortreten des Rückstandes gerade aufgewogen wird durch den Elektrizitätsverlust. Ist der letztere wegen der Natur der Flasche sehr gering, so dauert das Wachsen viele Stunden, und Stunden lang scheint dann die Ladung fast unverändert, während erst in einer Reihe von Tagen allmählig die Entladung bewirkt wird. Ist aber der Verlust an die Luft oder wegen schlechter Isolation gegen die Elektrizitätsmenge der Flasche groß, so sieht man die eben noch in steilem Ansteigen begriffene Curve plötzlich herabgebogen. Bilder von solchen Curven sieht man Taf. II. Fig. 2, ϱ graphisch dargestellt.

Entladet man den hervorgetretenen Rückstand, so sieht man eine zweite kleinere Rückstandscurve entstehen, ein Beweis, daß wieder ein verborgener Rückstand vorhanden war, und das kann man eine Reihe von Malen so fortsetzen.

Diese Wiederholung des Entladens ist das einzige Mittel zu erfahren, wie viel von einer Ladung sich in einen verborgenen Rückstand r umgewandelt hat. Um dabei den Elektrizitätsverlust auf ein Minimum zu beschränken, bedient man sich einer Magnetnadel von sehr kleinem magnetischen Momente und beobachtet bei kleinem Winkel α zwischen dieser Nadel und dem abstofsenden Arm. Dann

läßt man immer nur so viel vom Rückstande auftreten, daß man mit Sicherheit beobachten kann, entladet ¹⁾, liest den Winkel am Instrumente ab und setzt dieß Verfahren so lange fort, als man noch irgend meßbare Ladungen erhält. Obschon dieß Verfahren häufig sich durch mehrere Stunden hinzieht, so ist doch, gegen den ganzen Rückstand gerechnet, der Elektrizitätsverlust gering. Der größte Theil des Rückstandes tritt nämlich anfänglich sehr rasch hervor, so daß man zuweilen in der ersten Minute schon mehrere Mal entladet, wenn man es nur bis zu 1 oder 2 Grad Ablenkung des Elektrometers kommen läßt, welches letztere man zweckmäßiger Weise vorher schon auf diesen Winkel gestellt hat. Reducirt ²⁾ man nachher die Angaben, welche das Instrument bei Anwendung dieser schwachen Magnetnadel und dem kleinen Beobachtungswinkel α gemacht hat, auf die starke Nadel und den größeren Winkel α , deren man sich zur Beobachtung der ursprünglich mitgetheilten Ladung und deren Sinken, also zur Herstellung der Tabellen a , b und c bedient hat, so hat man den freilich noch von dem Einfluß des Elektrizitätsverlustes zu befreienden Rückstand r in der Summe $\varrho + \varrho' + \varrho'' + \dots$ der einzelnen aufgetretenen Rückstände.

Zu den in §. 1 gegebenen Tabellen a , b und c gehören also, um die Grundlagen zu einer Berechnung zu bekommen, noch die entsprechenden a' , b' und c' . Es wurden nämlich zu den Zeiten, wo dort die letzte Beobachtung angegeben ist, die Apparate vollständig entladen, indem durch einen Draht die innere Belegung auf etwa eine halbe Sekunde mit der Erde des Gartens in Verbindung gesetzt wurde. Zugleich wurde der Zuleitungsdraht des Elektrometers von der Flasche entfernt, die neue Magnetnadel aufgelegt und der neue Winkel α eingerichtet. Nach wiederhergestellter Verbindung zwischen Flasche und Instrument, welche durch einen isolirenden Griff am Zulei-

1) Hiebei vor Allem muß die äußere Belegung sehr gut abgeleitet seyn, denn sonst ist die Entladung illusorisch.

2) Diese Annalen Bd. 86, S. 497, §. 3 u. 9.

tungsdraht geschah, notirte ein zweiter Beobachter die Zeiten der einzelnen Entladungen. Diese finden sich in den Spalten t , angegeben in Sekunden und gerechnet vom Momente der ersten Entladung. Unter q' sind die einzelnen wieder aufgetretenen Rückstände zu verstehen.

Tab. a'.		Tab. b'.		Tab. c'.	
t	q'	t	q'	t	q'
65	0,0443	255	0,1131	34	0,0265
153	0,0166	990	0,0763	169	0,0101
270	0,0158	2250	0,0565	288	0,0101
535	0,0138	5040	0,0538	479	0,0101
835	0,0109	8760	0,0375	794	0,0101
1615	0,0109	13740	0,0301	1234	0,0080
3895	0,0109	37140	0,0207	12034	0,0109
5935	0,0075	73140	0,0107		
Summe	0,1307	Summe	0,3987	Summe	0,0858

3.

Es tritt nun zunächst die Frage in den Vordergrund, was wir denn eigentlich mit dem Sinuselektrometer gemessen haben. Nach meiner Ueberzeugung sicherlich dasselbe, wenigstens den Verhältnissen nach, was wir bekommen haben würden, wenn wir in den entsprechenden Augenblicken dieselbe Stelle des Knopfes der Flasche geprüft hätten. Das Elektrometer ist ja in seiner Verbindung mit der inneren Belegung der Flasche weiter nichts als eine Fortsetzung des Knopfes.

Dennoch aber haben wir in §. 1 gesehen, daß die Angaben des Elektrometers keinesweges der in der Flasche sicherlich vorhandenen Elektrizitätsmenge proportional waren, daß vielmehr ein Theil dieser Elektrizität gewissermaßen latent wurde, d. h. für die Spannung am Knopfe verloren ging, und schoben die Erscheinung auf den verborgenen Rückstand, der sich gebildet hatte. Es könnte gewagt erscheinen, ohne weiteres anzunehmen, es sey das, was wir nach der Entladung der Flasche als Rückstand r auftreten sehen, rein so zu betrachten, als sey es auch während der Ladung ganz unwirksam auf die Spannung der

der Elektricität am Knopfe gewesen. Erklärt man sich, wie meist geschieht, den Rückstand dadurch, daß man annimmt, es dringe mit der Zeit ein Theil der Elektricität bis zu einiger Tiefe in das Glas ein, so würde es am natürlichsten scheinen, die Spannung am Knopfe einer Flasche, in welcher sich ein elektrischer Rückstand gebildet hat, weder der ganzen in ihr enthaltenen Elektricitätsmenge proportional zu setzen, noch der für einen Entladungsstrom disponiblen Ladung, sondern vielmehr einem Mittelding von beiden. Jedenfalls aber haben wir zuerst zuzusehen, wie die Sache selbst sich verhalte.

Um diese Frage zu entscheiden, mußte dieselbe elektroskopisch gemessene Spannung einer geladenen Batterie, einmal, wenn diese einen möglichst geringen, das andere Mal, wenn sie einen großen Rückstand verborgen enthielt, mit der disponiblen Ladung verglichen werden, letztere aber gemessen auf anderem als elektroskopischem Wege. Zu einem solchen bot sich der Entladungsstrom in seinen thermischen oder magnetischen Wirkungen. Es wurden die letzteren gewählt.

In der Anlage II. ist der kleine Multiplicator beschrieben, welcher zu diesem Zwecke diente, und dessen mit Spiegel versehene Magnetnadel nach Art der Magnetometer mit Scale und Fernrohr in ihren Bewegungen beobachtet wurde; auch ist dort die kleine Vorrichtung angegeben, durch welche man bewirken konnte, daß die innere und äußere Belegung der Batterie in dem vom Sinuselektrometer vorgeschriebenen Augenblicke auf eine so kurze Zeit durch den Multiplicatordraht verbunden wurden, daß die Entladung der disponiblen Elektricität vollständig geschah, von dem gebildeten Rückstand aber kein meßbarer Theil unterdessen zum Vorschein kommen konnte.

Leitet man durch einen solchen Multiplicator den durch Einschaltung einer Flüssigkeit verzögerten Entladungsstrom einer Leidener Flasche oder einer Batterie von solchen Flaschen, und geschieht die Entladung, wie in unserem Falle, in einem kleinen Theile einer Sekunde, mithin in

einem sehr kleinen Bruchtheile der Schwingungsdauer der Nadel, so kann man die Wirkung des Stromes als einen momentanen Stofs betrachten, durch welchen der in der Ruhelage befindlichen Nadel plötzlich eine gewisse Drehungsgeschwindigkeit C mitgetheilt wird. Dieser Geschwindigkeit ist die Stärke des Stosses, also hier auch die durch den Multiplicator fließende disponible Ladung der Flasche, proportional. Nun hat W. Weber in seinen *elektrodynamischen Maafsbestimmungen* (insbesondere *Widerstandsmessungen* p. 346) eine Formel angegeben und abgeleitet, nach welcher bei den mit Dämpfung versehenen Multipliatoren jene Geschwindigkeit C aus der ersten Elongation x der Nadel bestimmt wird. Sie lautet:

$$C = x \cdot \frac{\pi}{T} \cdot e^{\frac{\lambda}{\pi} \arctan \frac{\pi}{\lambda}}.$$

Da für denselben Multiplicator die Schwingungsdauer T der Nadel und das logarithmische Decrement λ constant sind, so ist hier einfach die Geschwindigkeit C , also auch die Gröfse der disponiblen Ladung der Batterie, proportional der ersten Elongation x der Nadel, welche man wiederum bei ihrer Kleinheit der Anzahl der im Fernrohr zur Ablenkung gebrachten Scalentheile proportional setzen darf.

Die Beobachtungen waren folgende:

Eine Batterie von etwa 3 Quadratfuß Belegung, in welcher kein Rückstand sich befand, wurde geladen, das Sinuselektrometer eingestellt, und in dem Augenblicke, wo dieses nach seinem willkürlichen Maafse die Ladung 2,673 angab, die Entladung durch den Multiplicator vorgenommen. Die erste Elongation betrug 44,0 Scalentheile. Zwischen der Ladung und Entladung waren anderthalb Minuten verstrichen und der nachher in der Batterie gesammelte Rückstand betrug 0,14. Die Wiederholung dieses Versuches lieferte für die erste Elongation im einen Falle, wo die Nadel vorher nicht vollkommen in Ruhe war, 43,8, im folgenden 44,1 Scalentheile. In diesen beiden letzteren

Fällen wurde der Rückstand nicht besonders nachher gemessen.

Jetzt blieb die stark geladene Batterie 50 Minuten mit ihrer Ladung stehen, nämlich so lange, bis das Sinuselektrometer wieder die Ladung 2,673 angab, und wurde dann entladen. Drei solche Versuche zeigten für die erste Elongation der Nadel 44,0, — 44,1, — 44,1 Scalentheile.

Drittens endlich stand eine sehr starke Ladung 210 Minuten in der Batterie, mußte dann noch bedeutend geschwächt werden, bis sich die vorgeschriebene Ladung 2,673 zeigte, und lieferte 44,0 Scalentheile für die erste Elongation. In kurzer Zeit trat 0,754 als Rückstand hervor und es wurde das weitere Aufsammeln des Rückstandes, welches nach Schätzung etwa die doppelte Menge ergeben haben würde, unterbrochen, weil die Versuche entscheidend genug ausgefallen waren.

Da also der verborgene Rückstand ohne allen Einfluß zu seyn schien, wurde sich bei den folgenden Versuchen gar nicht um ihn bekümmert. Es wurde eine andere Batterie genommen und die Wirkung der Entladung bei verschiedenen Angaben des Elektrometers untersucht. In der ersten Spalte der folgenden kleinen Tabelle findet man die Ablenkung φ der Magnetnadel des Sinuselektrometers; in der zweiten die Quadratwurzel aus dem Sinus dieses Winkels, welcher nach Angabe dieses Instrumentes die Ladung proportional seyn soll, aber dißesmal nicht auf die gewöhnliche Einheit des Instrumentes reducirt; in der dritten und vierten Spalte steht die beobachtete erste Elongation E der Nadel des Multiplicators in Scalentheilen; in der fünften die aus der stärksten Ladung berechnete Anzahl dieser Scalentheile, wie sie bei vollkommener Uebereinstimmung beider Instrumente hätte ausfallen müssen, und in der sechsten Spalte die Differenz d , angegeben in Theilen der Ladung.

φ	$\sqrt{\sin \varphi}$	E	Mittel	Ber.	d
1° 18' ¹⁾	0,1505	10,8	10,8	10,85	— 0,0046
8 45	0,3900	28			
		27,9			
		27,8	27,92	28,12	— 0,0071
		28			
26 57	0,6732	48,5			
		48,5	48,5	48,53	— 0,0006
79 15	0,9911	73			
		72,5	72,75	72,75	0

Diese Versuche lassen in der That keinen Zweifel darüber, daß die zu einem Entladungsstrome disponible Elektrizität vom Sinuselektrometer in ihren Verhältnissen richtig angegeben wird, *daß also die disponible Ladung in Wirklichkeit der Spannung der Elektrizität am Knopfe der Flasche proportional ist.* Dieselben Versuche und mit demselben Erfolge sind an der Franklin'schen Tafel gemacht. Will man aus dem Umstande, daß die Differenzen zwischen den berechneten und beobachteten Resultaten alle dasselbe Zeichen haben, den Schluß ziehen, daß bei den stärkeren Ladungen, die auch darum einen stärkeren Rückstand haben, weil sie zuletzt angestellt sind und es länger gedauert hat bis das Elektrometer eingestellt wurde, dennoch ein Theilchen dieses Rückstandes trotz der kurzen Entladungszeit den Multiplicator durchflossen habe, so ist dagegen nichts einzuwenden, doch könnten auch andere Ursachen vermuthet werden.

4.

Da wir nun die Ueberzeugung gewonnen haben, daß das Sinuselektrometer die disponiblen Ladungen derselben Flasche richtig mit einander vergleicht, so können wir dasselbe zum Messen dieser Ladungen gebrauchen, wenn wir irgend eine von diesen als Einheit festsetzen. Das Elektrometer hat bereits seine eigene Maafseinheit. Es ist das (diese Annalen Bd. 88, S. 502) diejenige Elektrizitätsmenge, welche in dem Instrumente sich befinden muß, damit bei einem bestimmten kleinen Beobachtungswinkel α zwischen

1) Diese Ladung bestand aus einem wieder hervorgetretenen Rückstand.

dem abstossenden Arm und der Magnetnadel, die letztere rechtwinklich gegen den Meridian gestellt wird, und auf diese Einheit werden alle Angaben des Instrumentes bei Anwendung verschiedener Nadeln und verschiedener Beobachtungswinkel α reducirt. Wählen wir deshalb zur Einheit, nach welcher wir die disponiblen Ladungen einer bestimmten Flasche messen wollen, diejenige Elektrizitätsmenge, welche als disponible Ladung in dieser Flasche vorhanden seyn muß, damit das mit ihr verbundene Elektrometer gerade seine eigene Einheit anzeigt, so dienen die Zahlenangaben des letzteren unmittelbar als die Maasse der disponiblen Ladungen für diese bestimmte Flasche ¹⁾.

Die in §. 1 in den Tabellen *a*, *b* und *c* beobachteten Curven sind also wirklich die Repräsentanten der als disponible Ladung *L*, zu den verschiedenen Zeiten *t* in den Ladungsapparaten vorhandenen Elektrizitätsmengen, und die in §. 2 Tab. *a'*, *b'* und *c'* aufgesuchten Rückstände ϱ' bezeichnen in den angegebenen Zahlen ebenfalls Elektrizitätsmengen in der Art, daß *a* und *a'* in derselben Maasseinheit ausgedrückt sind, ebenso *b* und *b'*, sowie *c* und *c'* ²⁾.

Die erste Frage, welche wir jetzt zu betrachten haben, ist die, ob Mittel vorhanden sind, aus den gemachten Beobachtungen eine klare Einsicht darüber zu gewinnen, in welchen quantitativen Verhältnissen sich in der geladenen

1) Wie man sieht, fehlt es hier noch an einem absoluten Maasse, denn nach dem Gesagten wird jede andere Flasche auch eine andere Elektrizitäts-Menge zur Einheit ihrer Ladung besitzen. Soll also das Sinus-Elektrometer die Ladungen verschiedener Flaschen nicht ihrer Spannung am Knopfe, sondern wirklich der Elektrizitäts-Menge nach miteinander vergleichen, so ist zuvor nöthig, das Verhältniß der Mengen zu erforschen, welche in den beiden Flaschen als Einheiten angenommen werden. Es kann dieß mit Sicherheit geschehen, indem man bei derselben Angabe des Elektrometers die Flaschen einzeln durch den Multiplicator entladet.

2) Mehr war zu dem hier vorliegenden Zwecke nicht nöthig. Es hätten durch den Multiplicator die drei verschiedenen Maasseinheiten, welche den Tabellen *a*, *b* und *c* zum Grunde liegen, aufeinander reducirt werden können; dann aber hätten zwei Tabellen nebst deren schon fertiger späterer Verwendung umgerechnet werden müssen, und das schien nicht der Mühe werth.

Flasche der Rückstand bildet. Denn das Sinken der Ladung hat, wie wir jetzt wissen, zwei Ursachen, den Elektrizitätsverlust an die Luft und den sich bildenden Rückstand. Ist die Elektrizitätsmenge Q_0 der inneren Belegung der Flasche mitgetheilt, welche im ersten Augenblicke die Ladung $L_0 = Q_0$ erzeugt, so entweicht bis zur Zeit t die Elektrizitätsmenge v_t als Verlust an die Luft ¹⁾, und es entsteht ein verborgener Rückstand r_t , so daß die disponible Ladung jetzt nur

$$L_t = Q_0 - v_t - r_t$$

beträgt, während die überhaupt zu dieser Zeit t noch in der Flasche vorhandene Elektrizitätsmenge Q_t durch die Gleichungen

$$Q_t = L_t + r_t = Q_0 - v_t$$

ausgedrückt ist.

Die Beobachtung gab uns direct Q_0 und L_t , letzteres wenigstens für die Zeiten t , in welchen die disponible Ladung beobachtet wurde, und es fragt sich, ob wir v_t bestimmen können, damit durch die Gleichung

$$r_t = Q_0 - (L_t + v_t)$$

der Rückstand für alle beobachteten t sich ergebe. Das wird, weil die verschiedenen t nahe genug beisammen liegen, zu einer Zeichnung der Rückstandcurve führen, aus der wir die Natur derselben erkennen können; und es entsteht dann, wenn wir erst so weit sind, die Hoffnung, ein förmliches Gesetz aufzufinden, durch dessen Zutreffen mit der Beobachtung die Richtigkeit der Hypothesen wahrscheinlich gemacht wird, welche diesem Gesetze zur Grundlage dienen.

Bestimmen wir also zunächst v_t .

In Fig. 3, Taf. II. stelle uns ab die anfänglich mitgetheilte Elektrizitätsmenge $Q_0 = L_0$ vor, $bb'b''b''' \dots c$ die in

- 1) Wir abstrahiren absichtlich von einem Elektrizitätsverluste durch mangelhafte Isolirung des Randes der Flasche, weil wir sonst den Verlust nicht durchweg der Ladung L_t proportional setzen dürfen. Die Ladung Q_0 darf also nicht stärker genommen werden, als daß diese Voraussetzung zulässig ist.

vielen und nahe an einander liegenden Punkten beobachtete Curve der disponiblen Ladung L , bezogen auf die Abscissenlinie ad , welche als Repräsentant der Zeit erscheint. Diese ist vom Augenblicke an gezählt, wo die Flasche geladen wurde, und wir haben also nach den Zeiten t_1, t_2, t_3 die disponiblen Ladungen L_1, L_2, L_3 . Nach der Zeit T , welche in der Figur durch die Länge der Linie ad bezeichnet ist, wird die Flasche entladen, mithin die der Linie dc entsprechende Elektrizitätsmenge L_r entfernt.

Jetzt treten zu den Zeiten $t' = dd'$, $t'' = dd''$, $t''' = dd'''$ u. s. w. von der in der Flasche als Rückstand verborgenen Elektrizität die Menge q' , q'' , q''' u. s. w. auf, deren Summe

$$q' + q'' + q''' + \dots = q$$

ist.

Wissentlich haben wir also die Elektrizitätsmenge $L_r + q$ aus der Flasche entfernt und schliessen nun, daß das, was an der anfänglichen Ladung Q_0 noch fehlt, während der gesammten Zeit der Operationen als Verlust V an die Luft übergegangen ist, so daß wir haben

$$V = Q_0 - (L_r + q).$$

Ist in der Figur $ef = q$, so ist also $fc = V$.

Dieser ganze Verlust V ist nun auf die einzelnen Zeiten zu vertheilen, namentlich zur Bestimmung von r , zu fragen, welcher Theil v , von ihm bis zu den einzelnen Zeiten t stattgefunden hat, in welchen die disponible Ladung der Flasche gemessen worden ist.

Dieser Ladung ist beständig der Elektrizitätsverlust proportional, mithin

$$dv = \alpha L dt$$

und die Integration des Ausdruckes rechts zwischen den Gränzen $t = 0$ und $t = t$ würde uns sogleich die GröÙe von v , geben, wenn wir α und das Gesetz der Curve L , kennen und die betreffende Formel zu integrieren verständen.

Nun aber ist klar, erstens, daß diese den Elektrizitäts-

verlust betreffende Constante α bei einer Leidener Flasche sich durch nichts im Voraus wird bestimmen lassen, zweitens, dafs keine Hoffnung vorhanden ist, ein Gesetz für die Curve der disponiblen Ladung zu finden, bevor man das Gesetz des sich bildenden Rückstandes kennt. In der That, da v , L , und r , alle drei von einander abhängig sind, scheint die Aufgabe nur gelöst werden zu können, wenn die Gesetze für alle drei Curven gleichzeitig errathen würden. Aber vorausgesetzt auch, wir besäfsen diese Divinationsgabe, so würden dennoch, wie man einsehen wird, wenn man nach Durchlesung des §. 11 die Differentialgleichung für L , hinschreibt, diese in solcher Weise complicirt erscheinen, dafs die Integration wohl kaum zu denken ist.

Unter solchen Umständen mufs man aus der Noth eine Tugend machen und bei dem Aufsuchen von v , statt eines wirklichen Gesetzes für die Curven der disponiblen Electricität die beobachtete Curve selbst nehmen.

Es ist nämlich

$$\int_0^t L dt$$

weiter nichts, als das unter der Curve gelegene Flächenstück begränzt von ihr, der Abscissenlinie und den Ordinaten zu Anfang und Ende von t , und wir sehen sogleich, dafs der Electricitätsverlust während der einzelnen Zeiten

$$t_1 - t_0, t_2 - t_1, t_3 - t_2 \text{ u. s. w.}$$

welche letztere in der Figur durch die Abscissenstücke aa' , $a'a''$, $a''a'''$ u. s. w. vorgestellt sind, proportional seyn werde den Flächenräumen

$$abb'a' = \int_0^{t_1} L dt = f_1; \quad a'b'b''a'' = \int_{t_1}^{t_2} L dt = f_2 \text{ u. s. w.}$$

bezeichnet F den ganzen Flächenraum $abb'b'' \dots cd$, so dafs

$$F = \int_0^T L dt = f_1 + f_2 + f_3 + \dots$$

so ist also αF der Elektrizitätsverlust bis zur ersten Entladung der Batterie. Eben so wird der Verlust bei der zweiten Operation, nämlich dem Auffangen der wieder auftretenden Rückstände, proportional seyn den Flächenräumen

$$dg'd' = f'; d'g''d'' = f'' \text{ u. s. w.}$$

Stellt φ die Summe dieser Flächenräume $f' + f'' + f''' + \dots$ vor, so ist der ganze Elektrizitätsverlust während der zweiten Operation dargestellt durch $\alpha\varphi$.

Somit haben wir, da

$$V = \alpha F + \alpha\varphi$$

sogleich

$$\alpha = \frac{V}{F + \varphi}.$$

V ist uns durch die Beobachtung gegeben, und so hängt die Kenntniß von α nur von der Kenntniß von F und f ab.

Liegen die zu den Zeiten $t_1, t_2, t_3 \dots$ gemachten Messungen von L , so nahe zusammen, daß die von ihnen begrenzten Curvenstücke als gerade Linien betrachtet werden können, so erscheinen die Flächenräume $f_1, f_2 \dots$ als Trapeze und wir haben

$$f_1 = \frac{L_1 - L_0}{2} (t_1 - t_0); f_2 = \frac{L_2 - L_1}{2} (t_2 - t_1) \text{ u. s. w.,}$$

deren Summe F also gefunden werden kann und nur sehr wenig von

$$\int_0^T L dt$$

abweichen wird.

Die Flächen $f', f'', f''' \dots$, welche von den Curven der wieder auftretenden Rückstände begrenzt werden, darf man als Dreiecke betrachten ¹⁾, so daß also

$$\varphi = \frac{1}{2} [\varrho'(t' - t'') + \varrho''(t'' - t') + \dots].$$

- 1) Dies Verfahren scheint hier ungenauer, da eigentlich statt der Hypothesen dieser Dreiecke convexe Linien zu denken sind und die Beobachtungen nicht so nahe aneinander liegen. Man muß aber bedenken, daß der gesammte Elektrizitätsverlust bei dieser zweiten Operation, wenn sie auch lange dauert, gering ist gegen den vor der ersten Entladung erfolg-

Auf diese Art haben wir statt

$$v_t = a \int_0^t L_t dt$$

jetzt

$$v_t = \frac{V}{F + \varphi} \cdot \sum_0^t (f),$$

wobei

$$\sum_0^t (f) = f_1 + f_2 + f_3 \dots f_t,$$

worin also nichts Unbekanntes mehr ist, sobald jedes t eine der Zeiten der Beobachtung vorstellt.

So berechnen wir uns zu allen beobachteten disponiblen Ladungen L_t , die bis dahin erfolgten Elektricitätsverluste v_t und haben damit, den früheren Gleichungen gemäß, sowohl die zugehörigen verborgenen Rückstände r_t als auch die Gesamtmengen Q_t , welche zu den verschiedenen Zeiten noch in der Flasche sind. In den drei folgenden Tabellen a'' , b'' und c'' findet man diese Größen neben den früher gegebenen berechnet, und im Anhang III. einige, diese Berechnung im Einzelnen betreffende Angaben.

Tabelle a'' .

t	L_t	v_t	Q_t	r
0	0,4742	0	0,4742	0
18	0,4133	0,0013	0,4729	0,0596
50	0,3896	0,0033	0,4709	0,0813
110	0,3692	0,0069	0,4673	0,0981
160	0,3516	0,0097	0,4645	0,1084
215	0,3461	0,0128	0,4614	0,1153
265	0,3373	0,0155	0,4587	0,1214
330	0,3290	0,0189	0,4553	0,1263
382	0,3223	0,0216	0,4526	0,1303
450	0,3141	0,0250	0,4492	0,1351
523	0,3080	0,0286	0,4456	0,1396
577	0,3029	0,0312	0,4430	0,1401
680	0,2951	0,0360	0,4382	0,1421

ten, dann auch, daß, wenn erst die im Anfange rasch auftretenden Rückstände entfernt sind, wirklich die späteren so auftreten, daß die Curve von einer Geraden kaum zu unterscheiden ist. Hat man aber das Versehen gemacht, anfänglich nicht rasch genug zu entladen, so kann man eine kleine Correction eintreten lassen, wenn man vorher oder nachher die Curve, in welcher der Rückstand hervortritt, an der betreffenden Flasche studirt.

Tabelle *b''*.

<i>t</i>	<i>L_t</i>	<i>v_t</i>	<i>Q_t</i>	<i>r_t</i>
0	1,4968	0	1,4968	0
5	1,4120	0,0009	1,4959	0,0839
24	1,3221	0,0040	1,4982	0,1707
59	1,2640	0,0094	1,4874	0,2234
91	1,2256	0,0141	1,4827	0,2571
114	1,2060	0,0175	1,4793	0,2727
144	1,1826	0,0218	1,4750	0,2924
188	1,1552	0,0279	1,4689	0,3137
230	1,1326	0,0337	1,4631	0,3305
282	1,1093	0,0406	1,4562	0,3469
341	1,0854	0,0484	1,4484	0,3630
406	1,0608	0,0567	1,4401	0,3793
485	1,0354	0,0666	1,4302	0,3948
573	1,0093	0,0774	1,4194	0,4101
683	0,9823	0,0905	1,4063	0,4240
804	0,9543	0,1045	1,3923	0,4380
935	0,9254	0,1192	1,3776	0,4522
1105	0,8954	0,1377	1,3591	0,4637
1285	0,8643	0,1566	1,3402	0,4759
1505	0,8317	0,1789	1,3179	0,4862
1770	0,7977	0,2047	1,2921	0,4943
2070	0,7622	0,2327	1,2641	0,5019
2430	0,7247	0,2647	1,2321	0,5074
2870	0,6851	0,3018	1,1950	0,5099
3420	0,6429	0,3455	1,1513	0,5094
4110	0,5977	0,3967	1,1001	0,5024
4980	0,5486	0,4563	1,0405	0,4919
5370	0,5266	0,4814	1,0154	0,4888

Tabelle *c''*.

<i>t</i>	<i>L_t</i>	<i>v_t</i>	<i>Q_t</i>	<i>r_t</i>
0	0,5559	0	0,5559	0
6	0,5266	0,0005	0,5554	0,0288
43	0,4918	0,0034	0,5525	0,0607
71	0,4843	0,0055	0,5504	0,0661
133	0,4677	0,0101	0,5458	0,0781
193	0,4566	0,0144	0,5415	0,0849
256	0,4446	0,0188	0,5371	0,0925
328	0,4368	0,0237	0,5322	0,0954
423	0,4268	0,0301	0,5258	0,0990
531	0,4166	0,0372	0,5187	0,1021
620	0,4097	0,0429	0,5130	0,1033
715	0,4027	0,0489	0,5070	0,1043
864	0,3918	0,0581	0,4978	0,1060

Um dem Auge diese Größenverhältnisse anschaulich zu machen ist die Tab. *b''* in die graphische Darstellung

Fig. 2, Taf. II. eingetragen. Setzt man nämlich oben an die beobachteten L , die zugehörigen v , so bestimmen die so entstandenen Punkte die mit r , bezeichnete Rückstandscurve, deren Ordinaten sich aber auf die Linie be als Abscissenlinie beziehen. Setzt man dagegen oben an die beobachteten L , die zugehörigen r , so bekommt man eine Reihe von Punkten, welche mit einander verbunden die fast gerade Linie Q , oder v , bilden. Die Ordinaten dieser Linie stellen, wenn man sie auf ad bezieht, die überhaupt noch zur Zeit t in der Flasche befindliche Elektrizitätsmenge Q , vor, wenn man aber be zur Abscissenlinie wählt, den Elektrizitätsverlust v .

5.

Es entsteht nun die natürliche Frage, in welcher Art der sich verbergende Rückstand bei derselben Flasche abhängig sey von der Gröfse der zuerst mitgetheilten Ladung, denn so viel bemerkt man bei den Versuchen sehr bald, dafs eine stärkere Ladung auch einen gröfseren Rückstand hervorbringt. Ob wirklich der in gleichen Zeiten, aber von verschiedenen Anfangsladungen hervorgebrachte Rückstand der Gröfse dieser Ladungen proportional sey, wird man, weil bei übrigen gleicher Beschaffenheit der Luft der Elektrizitätsverlust diese Eigenschaft hat, daran erkennen können, ob das Sinken der disponiblen Ladung die verlangte Proportionalität zeige. Es soll darüber nur ein einziger aber entscheidender Versuch beigebracht werden.

Die im Anhang I. beschriebene Methode, einer Flasche momentan eine voraus bekannte bestimmte Ladung zu ertheilen, läfst sich leicht so anwenden, dafs diese im einen Falle genau 10 Mal so grofs ist, als im anderen. Diefs wurde an zwei aufeinander folgenden heiteren Tagen, wo man in der geheizten Stube ziemlich dieselbe Beschaffenheit der Luft hinsichtlich des Elektrizitätsverlustes erwarten durfte, bei derselben Flasche bewirkt und zwar bei einer solchen, die überhaupt wenig Verlust zeigte. Die Resultate sieht man in den folgenden kleinen Tabellen d

und e , während d in der Art eine Berechnung der Tab. d ist, daß deren Resultate unter der Voraussetzung gleichförmiger Abnahme der Ladung zwischen zwei benachbarten Messungen auf die Zeiten der Tab. e reducirt sind.

Tab. d .		Tab. e .		Tab. d .
t	L_t	t	L_t	L_t
0	0,1406	0	1,4062	0,1406
20	0,1368	60	1,3586	0,1352
65	0,1349	120	1,3374	0,1334
135	0,1329	180	1,3220	0,1322
270	0,1308	300	1,3087	0,1305
390	0,1296	420	1,2962	0,1293
600	0,1274	540	1,2858	0,1280
720	0,1268	720	1,2737	0,1268
900	0,1255	900	1,2583	0,1255

Derselbe Versuch ist ungefähr mit derselben Uebereinstimmung mehrmals wiederholt worden.

Somit haben wir den Satz gewonnen, *daß bei derselben Flasche der in derselben Zeit gebildete verborgene Rückstand der anfänglichen Ladung proportional ist*, müssen jedoch noch unentschieden lassen, ob dieser Satz auch für die stärksten Ladungen noch in voller Strenge gültig bleibe, da diese wegen des Elektrizitätsverlustes durch mangelhafte Isolation nicht mehr mit Genauigkeit auf dem bisherigen Wege zu untersuchen sind.

Bevor wir nun den Versuch machen, eine Formel aufzusuchen, nach welcher die Rückstandcurve zu berechnen ist, müssen noch einige Thatsachen beigebracht werden, welche behülflich seyn können, die Vorstellungen über den Rückstand zu berichtigen und die Hypothesen vorzubereiten, auf welche die Formel für die Curven gestützt werden soll.

6.

Es leuchtet ein, daß die Frage aufgeworfen werden kann, ob der Rückstand nicht seinen Grund etwa in dem unbelegten Theile der Flasche, also im Rande habe, indem ein Theil der Elektrizität zwischen Glas und Firnis hin und zurück gewandert sey.

Dafs eine solche Wanderung nur allmählig erfolge, und dafs, wenn sie eintritt, ein ziemliches Quantum Platz findet, scheint plausibel, denn es würde die auf den Rand geschobene Elektrizität der isolirten Seite offenbar ein Nachfolgen der entgegengesetzten auf der anderen Seite zur Folge haben und die Condensation würde so gut stattfinden können auf dem Isolator als unter den Belegungen. Jedenfalls scheint es nicht überflüssig, diese Frage zu entscheiden.

Sollte nämlich der Rand wirklich den Grund zu dem Rückstande abgeben, so würde letzterer im Vergleich zu der Gesamtladung desto bedeutender werden müssen, nicht allein je breiter der Rand ist, denn man könnte annehmen, dafs die Wanderung überhaupt nur wenig ausgedehnt ist, sondern namentlich je gröfser die Peripherie der Belegung gegen ihren Flächeninhalt wird. Beschränkt man also den Rand auf ein Minimum bei gleichbleibender Gröfse der Belegung, so müfste der Rückstand mit beschränkt werden.

Der Hals der Flasche, welche im §. 1 unter *b* beschrieben ist, und zu welcher die Tabellen *b*, *b'* und *b''* gehören, hatte innen einen Umfang von 5,7 Centm. und eine innere Oberfläche von 11,4 Quadrat-Centm., während die innere Oberfläche dieser bis zum Halse mit Quecksilber gefüllten Flasche 275 Quadrat-Centm. enthielt.

Die Belegung der im §. 1 unter *c* beschriebenen Franklin'schen Tafel, zu der die Tabellen *c*, *c'* und *c''* gehören, bildete ein Rechteck von 15 und 25 Centm. Seite, also von 80 Centm. Peripherie und von 375 Quadrat-Centm. Flächenraum, während die Oberfläche des unbelegten Randes 296 Quadrat-Centm. betrug.

Vergleichen wir nun die Tabellen *b''* und *c''* des §. 4, so finden wir, dafs die Franklin'sche Tafel bei einer anfänglichen Ladung 0,5559 in 864 Sekunden den Rückstand 0,1060 verborgen hatte, während die Flasche *b* bei einer anfänglichen Ladung von 1,4968 in 935 Sekunden den Rückstand 0,4522 erzeugte, oder in derselben Zeit wie

die Franklin'sche Tafel, nämlich in 864 Sekunden, wie sich leicht wenigstens angenähert richtig berechnet, den Rückstand 0,4445. Trotz der sehr ungleichen Verhältnisse des Randes betrug also bei der Flasche der Rückstand 0,297 der anfänglichen Ladung, bei der Franklin'schen Tafel nur 0,190. Ungefähr ebenso wird das Verhältniß, wenn wir diese Rückstände mit den Elektrizitätsmengen Q , vergleichen, welche nach 864 Sekunden überhaupt noch in den beiden Fällen vorhanden waren. Die Flasche hat als Rückstand 0,321 dieser Menge, die Tafel 0,213. Das aber schlägt die ganze Hypothese den Augenblick, daß zu dieser Zeit im Halse der Flasche also auf 11,4 Quadrat-Centm. fast halb so viel Elektrizität sich befinden soll, als auf den 275 Quadrat-Centm. der ganzen inneren Belegung, ein Verhältniß, welches noch ärger wird, wenn man den Zustand ins Auge faßt, den die Flasche bei ihrer endlichen Entladung also nach 5370 Sekunden besaß.

So viel ist also klar, *daß der Rand mit dem Rückstande, wenn vielleicht auch nicht gar nichts, so doch nur sehr wenig zu schaffen hat.*

7.

Man hat auch dem Bindemittel, mit welchem die Stanniolbelegungen auf das Glas geklebt zu werden pflegen, eine Rolle in Beziehung auf den Rückstand zugeschrieben. Ohne theoretische Betrachtungen anzustellen, ob diese Rolle nicht jedenfalls eine sehr untergeordnete seyn werde, sollen hier nur einige Thatsachen stehen.

Bei der Franklin'schen Tafel c war das Sinuselektrometer mit der Spiegelfolie verbunden, welche ohne Bindemittel als metallische Belegung unmittelbar auf dem Glase sitzt. Betrachten wir nun die Tabellen a'' , b'' und c'' und reduciren die Zahlen der beiden letzteren auf die Zeit 680, zu welcher die mit Stanniol innen und aussen belegte Flasche a entladen wurde, so erscheint allerdings die Spiegelfolie im Vorthail sowohl gegen diese Flasche a als gegen die mit Quecksilber gefüllte b . Denn das Verhältniß des

in 680 Sekunden gebildeten verborgenen Rückstandes gegen die anfängliche Ladung ist

a.	b.	c.
0,297	0,281	0,187,

und gegen die zu der Zeit 680 überhaupt noch vorhandene Menge Q .

a.	b.	c.
0,324	0,299	0,204.

Danach würde die Flasche a mit dem Bindemittel den größten Rückstand, die mit der Spiegelfolie den kleinsten geliefert haben.

Abgesehen davon, daß man diese Unterschiede auch auf die Glassorte und Glasdicke schieben kann, ist besonders der folgende Versuch zu beachten.

Bevor die Flasche b mit Quecksilber gefüllt dem Studium des Rückstandes unterworfen wurde, war sie schon mit gesäuertem Wasser gefüllt und untersucht worden, zuvor jedoch, damit die Benutzung vollständig sey, mit einer Lösung von Aetzkali ausgewaschen. Nun sollte man doch nach der Analogie des Bindemittels erwarten, daß in diesem Falle die Verhältnisse des Rückstandes andere gewesen wären als da, wo zwischen dem Spiegel des eingegossenen Quecksilbers und dem Glase jedenfalls noch eine dünne und trockene Luftschicht sich befand. Das Glas war nämlich vor dem Einschütten des gut getrockneten Quecksilbers mit destillirtem Wasser ausgewaschen, erhitzt und mit einem Glasrohre trocken gesogen. Es war aber durchaus kein Unterschied in beiden Fällen zu bemerken, denn der Rückstand bildete sich mit der Zeit in ganz derselben Gröfse, wie man aus folgenden Angaben sieht, welche sich auf einen Fall beziehen, wo beide Male die ursprüngliche Ladung 606 Sekunden gestanden hatte.

	L_0	L_{606}	Gesammelter Rückstand
Wasser	1,49	1,03	0,30
Quecksilber	1,49	1,05	0,29.

Hier

Hier scheint sogar das Quecksilber im Vortheil, doch möchte dieser Umstand darauf zu schieben seyn, daß es sehr schwer ist, eine Flasche das eine Mal mit einer adhären- den, das andere Mal mit einer nicht adhären- den Flüssigkeit zu einer Leidener Flasche von genau gleicher Größe der Belegung zu machen.

Am entscheidendsten würde die Frage über das Bindemittel zu beantworten seyn, wenn man eine Glasplatte auf beiden Seiten mit Spiegelfolie belegte und, nachdem sie untersucht ist, die letztere mit Stanniolbelegungen vertauschte. Schwerlich wird man einen meßbaren Unterschied finden.

8.

Es scheint nämlich die Größe des Rückstandes im Wesentlichsten von der Dicke des Glases abzu- hängen, in der Art, daß das dickere Glas den größeren Rückstand hervorbringt. Die Erfahrung, welche hierüber beigebracht werden soll, ist nicht vollkommen entscheidend, denn offenbar hängt die Größe des Rückstandes sehr wesentlich von der Sorte des Glases ab, und die beiden Flaschen, welche verglichen worden sind, hätten deswegen aus demselben Glashafen geblasen und in ganz gleicher Weise gekühlt seyn müssen. Obschon das nicht der Fall war, soll das interessante Resultat doch angeführt werden.

Die mittlere Glasdicke der Flasche *b*, von der schon oft die Rede gewesen ist, betrug 2,7 Millimeter. Es war dieß durch das absolute und spec. Gewicht und durch directe Messung der Dimensionen gefunden. Die innere Oberfläche, so weit sie als Belegung zu betrachten ist, wurde schon früher zu 275 Quadrat-Centm. angegeben.

Eine andere Flasche *c* von dünnem Glase hatte die mittlere Glasdicke 0,82 Millimeter und die innere Oberfläche von 230 Quadrat-Centm.

Beide Flaschen waren durch Füllen und Umgeben mit gesäuertem Wasser zu Leidener Flaschen umgestaltet und es war durch die im Anhang I. und II. beschriebene Methode gefunden, daß die Elektrizitätsmengen dieser

Flaschen *b* und *e* bei gleicher Spannung des Knopfes sich verhielten wie 508 zu 1303.

Beiden Flaschen wurde momentan eine Ladung mitgetheilt, welche im ersten Augenblicke vom Sinuselektrometer zu 1,4941 angegeben wurde und es zeigte sich, daß die nach 9 Minuten entladenen Flaschen die Rückstände 0,3052 und 0,1180 auf sammeln ließen.

Das Verhältniß der mittleren Dichtigkeit der Elektrizität in beiden Flaschen *b* und *e* ist, wenn sie gleiche Spannung am Knopfe zeigen, das von

$$\frac{508}{275} \text{ zu } \frac{1303}{230}$$

oder von 1 zu 3,07.

Das Verhältniß der in gleichen Zeiten als Rückstand in *b* und *e* verborgenen Elektrizitätsmengen ist das von

$$508 \cdot 0,3052 \text{ zu } 1303 \cdot 0,1180$$

oder von 1 zu 0,991.

Wir sehen hier also, daß eine Flasche, welche ungefähr drei Mal so dickes Glas hat als eine andere, dieselbe Elektrizitätsmenge als Rückstand erzeugt, obschon die mittlere Dichtigkeit drei Mal so gering ist.

Ganz ähnliche Erscheinungen haben sich bei zwei Franklin'schen Tafeln von ungleicher Dicke ergeben.

(Schluß im nächsten Heft.)

III. *Die Grundzüge eines thermo-chemischen Systems; von Julius Thomsen.*

(Fortsetzung von Bd. 90, S. 288.)

§. 25.

IV. Ueber das gegenseitige Verhalten der Oxyde in der wässrigen Lösung.

Der Apparat, dessen ich mich bei den jetzt folgenden Versuchen benutzte (Siehe Taf. III. Fig. 1)¹⁾, bestand hauptsächlich aus zwei Behältern, von denen der obere 1500, der untere 2500 Grm. Wasser fassen konnte. Der untere Behälter, ein Becherglas von dünnem Glase, stand in einem ähnlichen Gefäß von etwa 4000 Cubikcentimeter Inhalt, um gegen die Wärme der umgebenden Luft geschützt zu seyn. Im Deckel dieses Behälters waren drei Löcher angebracht; durch das eine ging das Thermometer *t*, durch das andere der Stiel des Rührers *n*, und durch das dritte Loch communicirten die beiden Behälter *A* und *B*. Der Rührer bestand aus einer, an einer Glasstange befestigten, Glasplatte von der Form wie Fig. 2. Die Oeffnung *p* erlaubt dem Thermometer *t*, seinen Platz zu behalten während der auf und abgehenden Bewegung des Rührers. Der obere Behälter *A* war eine tubulirte Glasglocke, in dessen Tubus das Rohr *k* angebracht war, durch welches die beiden Behälter communicirten. Durch einen Pfropfen von Cautschuk *t*, welcher an der Stange *s* befestigt war, konnte das Rohr *k* geschlossen werden. Der Rührer im Behälter *A* war an einem Glasrohre *r* befestigt, durch welches die Stange *s* ging. Die Glocke *A* war von einer anderen umgeben, um gegen die Luftwärme geschützt zu seyn.

Die Art des Experimentirens war nun die folgende. Wenn die zwei zu untersuchenden Flüssigkeiten in die Behälter gebracht und die Thermometer eingestellt waren, wurden die Lösungen zur Erreichung einer homogenen

1) Wird dem nächsten Heft beigegeben.

Temperatur durch die Rührer in Bewegung gesetzt, bis die Thermometer stationär geworden. Das Ablesen der Thermometer geschah mittelst eines, an einem Stativ befestigten Fernrohrs. Alsdann wurde das Ventil t mittelst der Stange s geöffnet; die Flüssigkeit des Behälters A läuft alsdann in den Behälter B , wo die vollständige Mischung durch den Rührer hergestellt wird. Gewöhnlich wurde die Temperatur nach Verlauf einer Minute stationär, und dann notirt.

Die Data zur Berechnung der Versuche werden folgendermaßen bezeichnet:

T ist die Temperatur der Luft

t_1 „ „ „ der Flüssigkeit im Behälter A

t_2 „ „ „ „ „ „ „ B

t_3 „ „ „ in B nach der Mischung der Flüssigkeiten

A der Inhalt des Behälters A an Salz,
Säure oder dgl.

B der Inhalt des Behälters B an Salz,
Säure oder dgl. } in Grammen

a die Wassermenge des Behälters A

b „ „ „ „ „ B

R' das Resultat des Versuches, ausgedrückt in Wärme-einheiten (1 Grm. Wasser um 1° C. erhöht).

Die Berechnung der Versuche geschah nach der Formel

$$R' = (1,03b + 38)(t_3 - t_1) + [t_3 - t_2 + 0,03(t_3 - T)]a \quad (37),$$
 welche nach der Form und der Masse des Apparats berechnet ist und durch Versuche geprüft, in welchen Wasser von verschiedenen Temperaturen gemischt wurde.

Die Resultate dieser Versuche sind folgende:

No.	T	b	t_1	a	t_2	t_3	R'
XXXIII. Verifications - Versuche.							
117	17,4	720	13,86	1150	16,88	15,70	— 1
118	17,4	720	13,98	1150	17,10	15,86	— 13
119	17,4	1150	13,70	720	17,10	15,00	+ 26
120	17,4	1150	13,76	720	17,20	15,05	— 21
121	17,5	1440	21,42	500	17,04	20,32	+ 9
122	17,9	1440	19,90	500	17,18	19,22	+ 5

Man ersieht aus diesen Versuchen, daß der Apparat mit hinlänglicher Genauigkeit das wirkliche Verhältniß auszudrücken vermag.

Bei den Versuchen arbeitet man freilich nicht mit reinem Wasser, sondern mit Lösungen von verschiedenen Oxyden und Salzen; es ist also die Frage, wie die verschiedene *specifische Wärme der Lösungen* in die Berechnung gebracht werden sollen.

Die spezifische Wärme der verschiedenen angewandten und resultirenden Lösungen zu bestimmen, wäre schon an und für sich eine sehr bedeutende Arbeit. Es ist dieses aber durchaus nicht nöthig, wenn man wie bei den folgenden Versuchen mit verdünnten Lösungen arbeitet. Ein Beispiel erklärt die Sache. Für eine Lösung von 6,322 Theilen salpetersauren Kalis in 100 Theilen Wasser fand Andrews ¹⁾ die spezifische Wärme = 0,9369. Das Gewicht der gesammten Lösung ist also 106,322 und es erfordert dieses Gewicht für eine Temperaturerhöhung um 1° C. im Ganzen $106,322 \cdot 0,9369 = 99,61$ Wärmeeinheiten. Hätte man nur die in der Lösung gegenwärtige Wassermenge berücksichtigt, so wären 100 Wärmeeinheiten erforderlich für eine Temperaturerhöhung um 1° C. Für eine Lösung mit 1000 Grm. Wasser wäre der Fehler also 4° für jeden Grad, um welchen die Temperatur erhöht wurde; diese GröÙe liegt aber ganz innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler. Die Methode ist also die, nur die in der Lösung gegenwärtige Wassermenge zu betrachten und die spezifische Wärme des gelösten Stoffs zu vernachlässigen. Sind die Lösungen nur hinlänglich verdünnt, kann diese Methode stets angewandt werden.

In der nachstehenden Tabelle bezeichnet *A* die von Andrews bestimmte spezifische Wärme der Lösung, *B* das Gewicht der Lösung, welches 1 Grm. Wasser enthält, *C* das spezifische Gewicht der Lösung berechnet nach der Formel $C = \frac{1}{B}$.

1) Erdmanns Journ. L, S. 468.

	<i>A.</i>	<i>B.</i>	<i>C.</i>	<i>C — A.</i>
Salpetersaures Kali	0,9369	1,0632	0,9405	0,004
Salpetersaures Kali	0,975	1,0260	0,9746	0,000
Salpetersaures Natron	0,9131	1,1062	0,9040	0,009
Chlornatrium	0,8671	1,1461	0,8725	0,005
Chlorkalium	0,971	1,0187	0,9815	0,010
Schwefelsaures Kali	0,973	1,0223	0,9782	0,005.

Berechnet man nach dieser Methode die spezifische Wärme für alle von Andrews bestimmten Lösungen, so wird man finden, daß die Differenz $C - A$ mit B gleichzeitig abnimmt, d. h. mit der Verdünnung der Flüssigkeit. In den meinigen Versuchen ist B gewöhnlich 1,01 bis 1,02, und also fällt der dadurch entstehende Fehler ganz innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler. Ein ähnliches Resultat geben die Bestimmungen der spezifischen Wärme für Lösungen nach Person¹⁾.

§. 26.

Die Schwefelsäure.

Das erste Verhältniß, welches ich besprechen werde, ist das der Schwefelsäure gegen die Basen. Es ist die Frage zu beantworten, ob die Schwefelsäure sich auf nassem Wege mit den basischen Oxyden in bestimmten Verhältnissen verbinde. Es wurde deshalb ein Aequivalent *Natron* mit $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2 und 4 Aeq. Schwefelsäure vermischt und die dadurch entstandene Wärmeentwicklung bestimmt. In allen Versuchen war die angewandte Menge Schwefelsäure in 1000 Grm. Wasser gelöst und befand sich im unteren Behälter; das eine Aeq. *Natron* dagegen war, gelöst in 500 Grm. Wasser, enthalten im oberen Behälter; es ist also $a=500$, $b=1000$. Das Detail der Versuche ist folgendes:

1) *Ann. de chim. et de phys.* 1851, December.

No.	T	B	t	A	t _a	t _e	R'	Mittel
XXXIV. (Na Aq, S ^a Aq)								
123	15,8	$\frac{1}{3}$ S	15,08	Na	15,32	15,56	678	678
124			14,82		14,70	15,22	678	
125			14,85		14,52	15,60	1345	
126	15,3	$\frac{2}{3}$ S	14,76	Na	14,45	15,50	1319	1332
127			14,63		14,50	15,80	1920	
128	14,5	S	14,62	Na	14,45	15,78	1923	1921
129			14,68		14,58	15,85	1910	
130	14,2	$1\frac{1}{3}$ S	14,64	Na	14,55	15,82	1920	1915
131			13,90		14,55	15,32	1921	
132	14,0	2 S	13,47	Na	14,52	15,03	1936	1928
133			12,90		14,48	14,62	1916	
134	14,0	4 S	13,00	Na	14,48	14,67	1889	1902

Aus den Versuchen geht also hervor, daß sich auf nassem Wege nur *eine* Verbindung zwischen der Schwefelsäure und dem Natron bildet, nämlich die, welche ein Aeq. Säure gegen ein Aeq. Basis enthält. Die sauren Salze scheinen nicht in der wässrigen Lösung existiren zu können, wenigstens läßt ihre Bildung sich nicht an der Wärmeentwicklung erkennen; denn diese ist dieselbe, wenn 1, $1\frac{1}{2}$, 2 oder 4 Aeq. Säure mit einem Aeq. Basis in Berührung gebracht wird, nämlich 1921, 1915, 1928, 1902. Wenn dagegen die Menge der Säure geringer als 1 Aeq. ist, dann ist die Wärmeentwicklung auch geringer und, wie es scheint, der Menge der angewandten Säure proportional; das Mittel aus den letzteren 8 Versuchen ist 1916; für $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ Aeq. Säure würde dann die Wärmeentwicklung 639 und 1278 seyn, während die Versuche 678 und 1332 gegeben haben. Aehnliche Resultate haben die Versuche mit dem *Kali* gegeben. In den Versuchen ist $a = 500$, $b = 1000$ Grm.

No.	T	B	t	A	t _a	t _e	R'	Mittel
XXXV. (K Aq, S ^a Aq)								
135	16,4	$\frac{1}{3}$ S	16,50	K	15,24	16,49	618	621
136			16,55		15,12	16,49	624	
137			16,49		15,40	16,92	1224	
138	16,6	$\frac{2}{3}$ S	16,42	K	15,76	17,00	1245	1235
139			15,45		16,62	17,05	1926	
140	16,8	K	15,50	S	16,60	17,07	1916	1921
141			15,53		15,98	16,89	1908	
142	16,8	K	15,55	2 S	15,88	16,87	1905	1906

Das Verhältniß ist also hier ganz ähnlich wie bei dem Natron; die Wärmeentwicklung steigt proportional mit der Säuremenge, bis diese 1 Aeq. ausmacht, und wird dann unveränderlich.

Es entwickelt nämlich

	mit 1 Aeq. Na	1 Aeq. K	berechn.
$\frac{1}{3}$ Aeq. \ddot{S}	678 ^c	621 ^c	640
$\frac{2}{3}$	1332	1235	1280
1	1921	1921	1921
$1\frac{1}{2}$	1915		
2	1928	1906	
4	1902		

In der wässrigen Lösung sättigt sich also die Schwefelsäure mit der Basis Aequivalent für Aequivalent, und der mögliche Ueberschuß dieses oder jenes Stoffes ist unverbunden in der Flüssigkeit zugegen.

Die Schwefelsäure besitzt also die Eigenschaft die Basis vollständig zu neutralisiren; sie hat ein bestimmtes Aequivalent, ausgedrückt durch \ddot{S} ; daß dieses aber nicht stattfindet bei allen Säuren, werde ich gleich näher zeigen.

§. 27.

Die Borsäure.

Es war meine Absicht das Aequivalent der Borsäure zu bestimmen, als ich sie auf ähnlicher Weise wie die Schwefelsäure untersuchte; sie zeigte aber, wie es aus den nachstehenden Versuchen hervorgeht, ein ganz anderes Verhältniß. In allen Versuchen ist $b=1000$ Grm. und $a=500$ Grm.

No.	T	B	t_b	A	t_a	t_c	R'	pr. Aeq. Na
XXXVI. ($x\ddot{N}a, Aq, B\ddot{A}q$)								
143	15,0	4 Na	14,49	$\frac{2}{3}\ddot{B}$	15,61	15,42	908	225
144	15,0		14,48		15,32	15,32	895	
145	15,0		14,24		15,21	15,12	894	
146	18,0	$\frac{2}{3}\ddot{B}$	17,92	2 Na	15,82	17,85	952	453
147	18,0		17,80		17,65	18,30	853	
148	18,0		17,77		17,82	18,37	921	

No.	T	B	t _i	A	t _a	t _e	R'	pr. Aeq. Na
149	18,0		18,06		18,32	18,72	916	
150	18,0	3 B	18,06	Na	18,28	18,72	936	922
151	18,0		18,00		18,25	18,66	920	
152	18,0		18,20		17,93	18,88	1214	
153	18,0	B	18,11	Na	17,80	18,80	1249	1218
154	18,0		18,00		17,77	18,68	1191	
155	20,5	3 B	20,205	Na	20,37	20,55	457	456
156	20,5		20,225		20,30	20,54	456	
157	19,8		20,025		20,45	20,73	890	
158	19,8	3 B	20,020	Na	20,37	20,705	896	899
159	20,2		20,325		19,90	20,78	925	
160	20,2		20,345		19,88	20,76	883	
161	20,0		20,02		19,88	20,78	1260	
162	20,0	B	20,06	Na	19,87	20,82	1285	1280
163	20,0		20,60		19,60	21,10	1282	
164	20,0		20,645		19,48	21,10	1294	
165	21,0	3 B	20,835	Na	19,88	21,36	1299	1309
166	21,0		20,88		19,87	21,40	1318	
167	20,4		19,94		19,82	20,80	1406	
168	20,0	2 B	20,21	Na	20,78	21,30	1420	1415
169	20,0		20,29		20,80	21,36	1419	
170	20,5	3 B	19,68	Na	19,94	20,70	1466	1459
171	20,5		19,745		19,91	20,725	1452	
172	20,0	4 B	19,44	Na	19,50	20,40	1473	1468
173	20,0		19,55		19,57	20,49	1462	

Die Versuche No. 155 bis 173 sind in einem anderen, aber ähnlichem Calorimeter angestellt und berechnet nach der Formel

$$R' = [b + 0,03(a + b) + 20](t_e - t_i) + a(t_e - t_a) \dots (38).$$

Aus diesen Versuchen bestimmen zu wollen, in welcher Menge die Borsäure zugegen seyn müßte, um das Natron völlig zu neutralisiren, wäre wohl nicht leicht möglich. Es scheint dagegen aus den Versuchen hervorzugehen, daß die Borsäure nicht im Stande ist die Basis in der wässrigen Lösung vollständig zu sättigen; denn die Wärmeentwicklung steigt stets mit der Menge der Säure. Nennen wir das Verhältniß zwischen der Sauerstoffmenge in der Borsäure und dem Natron a , dann ist die Wärmeentwicklung als Mittel der sämtlichen Versuche für

$a = \frac{1}{2}$	225° für jedes Aeq. Natron
1	454
2	909
3	1253
4	1309
6	1415
8	1459
12	1468.

Es steigt also die Wärme anfangs der Menge der Borsäure oder dem a fast proportional bis die Sauerstoffmenge der Borsäuremenge das Doppelte der der Basis ist; von diesem Punkte an ist die Steigerung der Wärme aber bedeutend kleiner. Dieses Verhältniß erinnert an dasjenige, welches ich zwischen den Alkalien und dem Wasser nachgewiesen habe; denn da zeigte sich ebenfalls eine starke Steigung der Wärme durch Verbindung mit den ersten Aequivalenten Wasser, während die fernere Entwicklung von Wärme sehr gering wird. Es scheint schon Dieses darauf hinzudeuten, daß die Borsäure sich gegen die Basen auf eine ähnliche Weise, wie die Alkalien sich gegen das Wasser verhalten; ich werde später auf diesen Punkt zurückkommen.

§. 28.

Die Kieselsäure.

Die Borsäure hat sehr große Aehnlichkeit mit der Kieselsäure, und es ist demzufolge natürlich, daß bei dieser Säure ein ähnliches Verhältniß wie das der Borsäure gegen die Basis angetroffen wird. Die Versuche konnten aber nicht ganz auf dieselbe Weise angestellt werden, weil dieses eine wässrige Auflösung der freien Kieselsäure fordert. Ich arbeitete deshalb mit dem kieselsauren Kali (KSi^4), indem ich zu einer Lösung desselben größere oder kleinere Mengen Kali hinzusetzte. Das kieselsaure Kali, gelöst in 500 Grm. Wasser, befand sich im oberen Behälter, das Kali, gelöst in 1000 Grm. Wasser, im unteren;

es ist also $a = 500$, $b = 1000$ Grm. Die Versuche sind die folgenden:

No.	T	B	t_b	A	t_a	t_c	R'	pro Aeq. $\ddot{K}\ddot{Si}^4$
XXXVII. ($\ddot{K}\ddot{Si}^4$ Aq, a \ddot{K} Aq)								
174	18,0	k	{ 17,91	{ 18,46	{ 18,26	{ 277	{ 300	
175	18,0							
176	18,0	$\frac{2}{3}$ k	{ 17,91	{ 18,62	{ 18,40	{ 323	{ 416	
177	18,0							
178	18,0	$\frac{1}{3}$ k	{ 17,85	{ 18,52	{ 18,40	{ 528	{ 525	
179	18,0							
180	18,0	$\frac{3}{4}$ k	{ 17,60	{ 18,49	{ 18,07	{ 292	{ 570	
181	18,0							

Aus diesen Versuchen zeigt der Charakter der Kieselsäure sich ganz bestimmt und ähnlich dem der Borsäure; die in den verschiedenen Versuchen entstandenen Lösungen haben folgende Zusammensetzung: $\ddot{K}\ddot{Si}^2$, $\ddot{K}\ddot{Si}^{1\frac{1}{2}}$, $\ddot{K}\ddot{Si}$ und $\ddot{K}\ddot{Si}^{\frac{1}{2}}$; die Sauerstoffmenge der Kieselsäure, verbunden mit einem Aeq. Kali, ist also 4, 3, 2 und 1. Um die Neutralisationswärme der Kieselsäure in diesen verschiedenen Fällen angeben zu können, muß man die Gröfse (\ddot{K} Aq, \ddot{Si}^4 Aq) kennen. Diese Gröfse läßt sich aber dadurch bestimmen, dafs man die Wärme bestimmt, welche durch Zersetzung des kieselsauren Kalis mittelst Salpetersäure erhalten wird. Ich werde unten zeigen, dafs in diesem Falle sich die ganze Differenz zwischen der Neutralisationswärme der Salpetersäure und der Kieselsäure entwickelt, und dort die Versuche anführen. Das Resultat ist folgendes:

$$(\ddot{K}\text{Aq}, \ddot{N}\text{Aq}) - (\ddot{K}\text{Aq}, \ddot{Si}^4\text{Aq}) = 604^\circ.$$

Da nun ($\ddot{K}\text{Aq}, \ddot{N}\text{Aq}$) meinen Untersuchungen zufolge 1643° ist, so erhält man

$$(\ddot{K}\text{Aq}, \ddot{Si}^4\text{Aq}) = 1039.$$

Addirt man diese Gröfse zu der, welche in der Tabelle die aus kieselsaurem Kali und Kali entwickelte Wärme bezeichnen, so resultirt die Wärme, welche durch Verbindung von \ddot{Si}^4 mit 2, $2\frac{2}{3}$, 4 und 8 Aeq. Kali entstehen würde, nämlich 1339, 1455, 1564 und 1609. Reducirt man diese

Größen auf ein Aequivalent Kali, dann hat man folgende Werthe; für

a	($\ddot{K}Aq, a\ddot{Si}Aq$)
$\frac{1}{2}$	201°
1	391
$1\frac{1}{2}$	546
2	669
4	1039.

Es geht aus diesen Größen hervor, daß die Menge der Kieselsäure, welche mit dem Kali verbunden wird, nicht der durch die Verbindung entwickelten Wärme proportional ist, sondern daß diese in einem geringeren Verhältniß steigt als jene. Wenn die Menge der Kieselsäure um das Achtfache vermehrt wird, steigt die Wärme nur um das Fünffache. Es ist aber unverkennbar, daß die \ddot{Si} doppelt so viel Wärme entwickelt wie $\frac{1}{2}\ddot{Si}$ verbunden mit 1 Aeq. Natron, ebenso wie \ddot{B}^3 doppelt so viel Wärme entwickelt als $\frac{1}{2}\ddot{B}^3$ und viermal so viel als $\frac{1}{4}\ddot{B}^3$ verbunden mit derselben Menge Natron; es scheint also, als ob *das Aequivalent dieser beiden Säuren durch \ddot{Q} auszudrücken sey*. Aus folgender Zusammenstellung der Resultate geht es deutlich hervor. Es entwickelt nämlich ein Aeq. \ddot{Si} und \ddot{B} mit verschiedenen Mengen Basis folgende Wärmemengen:

Basis	\ddot{B}	\ddot{Si}
$\frac{1}{6}$ Aeq.	245°	
$\frac{1}{4}$	365	264°
$\frac{1}{3}$	472	
$\frac{1}{2}$	654	340
$\frac{2}{3}$	835	369
1	909	397
2	908	408
4	900	

Es zeigt sich, daß die Wärmeentwicklung steigt mit der Menge Basis, welche der Säure \ddot{Q} hinzugesetzt wird, bis diese Menge ein Aequivalent erreicht hat, d. h. bis diese

Sauerstoffmenge der Basis die Hälfte derjenigen der Säure beträgt, oder die Zusammensetzung des Salzes RQ wird. Die größte Menge Basis, welche ein Aequivalent der Säure zu sättigen vermag, ist demzufolge diejenige, welche halb so viel Sauerstoff enthält, als die Säure selbst; der Grad der Sättigung der Basis ist aber am größten, je kleiner ihre Menge ist. In diesem Punkte unterscheiden sich beide Säuren von der Schwefelsäure, denn diese sättigt sich stets zu einem bestimmten Grad. Der Unterschied zwischen diesen beiden Klassen von Säuren wird später deutlicher hervortreten, wenn ich auf die Zersetzung ihrer Salze zu reden komme.

§. 29.

Die Phosphorsäure.

Wir wenden uns jetzt zu der Phosphorsäure; diese ist bekanntlich eine sehr merkwürdige Substanz; denn erstens tritt sie in mehreren isomeren Modificationen auf, und zweitens bildet jede dieser Modificationen eine Reihe von verschiedenen Verbindungen. Ein genaues Studium der thermo-chemischen Verhältnisse dieser Säure würde ihre Natur gewiß bedeutend aufklären, aber zugleich auch sehr weitläufig seyn; ich habe mich vorläufig darauf beschränkt die Hydro-Phosphorsäure mit Rücksicht auf ihr Verhältniß gegen das Natron zu untersuchen. Bekanntlich giebt es drei verschiedene Verbindungen dieser Säure mit Natron, nämlich 1, 2 und 3 Aeq. Basis enthaltend; es war aber nothwendig zu untersuchen, ob nicht noch andere Verbindungen existiren können, wenigstens in der wässrigen Lösung. Die Versuche wurden auf ganz ähnliche Weise wie die mit der Borsäure angestellt und sind nach der Formel (38) berechnet. In allen Versuchen ist 1 Aeq. Phosphorsäure, gelöst in 500 Grm. Wasser, im oberen Behälter, das Natron, gelöst in 1000 Grm. Wasser, im unteren; es ist also $a=500$, $b=1000$. Die Versuche sind die folgenden:

No.	T	B	t _b	A	t _a	t _c	R'	Mittel
XXXVIII. (\dot{x} Na Aq, \ddot{P} Aq)								
182	22,4	Na	21,65	\ddot{P}	20,72	22,56	1891	1872
183	22,4		21,50		20,72	22,435	1853	
184	22,4		21,36		20,70	23,325	3405	
185	22,4	2 Na	21,44		20,67	23,36	3390	3398
186	22,5		21,30		20,74	23,76	4130	
187	22,5	3 Na	21,255		20,76	23,74	4136	4133
188	22,5		21,27		20,77	23,81	4225	
189	22,5	4 Na	20,81		20,90	23,545	4236	4230
190	22,5		20,42		20,90	23,30	4267	
191	22,5	5 Na	20,455		20,91	23,36	4318	4293

Die Phosphorsäure zeigt also ein ähnliches Verhältniss wie die Borsäure und die Kieselsäure. Das erste Aequivalent Natron entwickelt mit 1 Aequivalent Säure

1872 Wärmeeinheiten

das zweite	1526	„
das dritte	735	„
das vierte	97	„
das fünfte	63	„

Man sieht hieraus, dass die Phosphorsäure durch 3 Aeq. Basis noch nicht völlig gesättigt ist, denn die beiden nächsten Aequivalente Basis entwickeln noch 160° aus demselben Aequivalent Phosphorsäure. Die Phosphorsäure ist früher von Graham ¹⁾ untersucht worden; er findet indessen, dass das zweite und dritte Aequivalent Kali gleich viel Wärme entwickelt, was nicht mit meinen Versuchen übereinstimmt. Man könnte Säuren, wie die hier besprochenen, *unvollständige Säuren* nennen, denn sie sind nicht im Stande eine stärkere Basis vollständig zu neutralisiren. Es ist bemerkenswerth, dass gerade diese Säuren Verbindungen in manchen Verhältnissen mit den Basen bilden, wie z. B. die Phosphorsäure und die Kieselsäure in den natürlichen Verbindungen, und die Borsäure und Kohlensäure in den von Hrn. H. Rose auf nassem Wege dargestellten Verbindungen. Es scheint, als ob bei diesen Körpern die Masse eine ebenso bedeutende Rolle spiele wie ihr specifischer Charakter, welches z. B. bei der Schwefelsäure nicht der

1) *Phil. Mag. T. XXIV. p. 1.*

Fall ist, denn diese verbindet sich nur in der wässrigen Lösung in einem bestimmten Verhältnisse mit der Basis, wie verschieden auch ihre Masse seyn möge. Ich werde aber sogleich ein anderes Verhältniß zeigen, durch welches sich diese unvollständigen Säuren wesentlich von den anderen Säuren unterscheiden.

§. 30.

Zersetzung eines Salzes durch eine Säure.

Wenn man zu einem in Wasser gelöstem Salze eine Säure hinzusetzt, sind drei Möglichkeiten da; entweder wird das Salz nicht von der Säure verändert, oder es wird ganz oder nur zum Theil zersetzt. Ich werde jetzt die Bedingungen dieser verschiedenen Verhalten aufsuchen, indem ich nur in Wasser lösliche Stoffe besprechen werde, weil die Unlöslichkeit eines freiwerdenden Bestandtheiles stets einen wesentlichen, den Charakter der Zersetzung täuschenden Einfluss ausübt.

Wenn zwei Säuren verschiedene Wärmemengen entwickeln durch Verbindung mit derselben Basis, so ist das Verhältniß der einen Säure gegen das Salz der anderen Säure leicht auf thermo-chemischem Wege zu prüfen. Es sei nämlich α die Wärmemenge, welche durch Neutralisation der einen Säure entsteht, β diejenige, welche die andere Säure mit derselben Basis entwickelt, dann ist die Wärmetönung, von welcher die vollständige Zersetzung begleitet seyn würde

$$\pm (\alpha - \beta)$$

je nachdem die eine oder die andere Säure aus ihrer Verbindung getrieben wird. Ist dagegen die Zersetzung nicht vollständig, so wird die Wärmetönung in numerischer Beziehung stets geringer als diese Gröfse.

Die Schwefelsäure entwickelt, wie oben gezeigt, durch Neutralisation mit der Schwefelsäure 1921°; die Salpetersäure dagegen 1643°. Wenn also eine Lösung, welche 1 Aeq. salpetersaures Kali enthält, mit 1 Aeq. Schwefelsäure versetzt wird, vorausgesetzt dafs diese mit vielem Wasser

verdünnt sey, so würde die Wärmetönung, wenn die Zersetzung eine vollständige wäre, $1921 - 1643 = 278^\circ$ seyn. Dem ist aber nicht so; die Wärmeentwicklung ist viel geringer. Versetzen wir die Lösung des einen Aeq. salpetersauren Kalis mit 2, 3, 4 Aeq. Schwefelsäure, so steigt allmählig die Wärmeentwicklung ohne jedoch die eben genannte Gröfse zu erreichen. Die Schwefelsäure zersetzt also nur theilweise das salpetersaure Kali. Es erinnert dieses sogleich an die Theorie von Berthollet. Ich werde versuchen sie in Formeln auszudrücken. Wenn n Aeq. eines Salzes RQ und m Aeq. einer Säure Q_1 aufeinander wirken, so theilt sich die Basis zwischen den Säuren so, daß die ganze Lösung einen homogenen Charakter erhält, d. h. das die Acidität des Salzes die nämliche wird. Das entstandene Salz sey $R(QQ_1)^x$; es ist also

$$nRQ + mQ_1 = xRQ^x + yRQ_1^x$$

$$x + y = n$$

$$zx = n$$

$$yx = m$$

also wird die Zusammensetzung der Salze in der Lösung

$R(QQ_1)^{\frac{m+n}{n}}$ und die der Lösung selbst

$$\frac{n^2}{m+n} RQ^{\frac{m+n}{n}} + \frac{nm}{m+n} RQ_1^{\frac{m+n}{n}}$$

Es sind also $\frac{nm}{m+n}$ Aeq. des Salzes zersetzt worden.

Wenn nun die Wärmeentwicklung der Menge des zersetzten Salzes proportional ist, muß sie also durch

$$W = \frac{nm}{n+m} C \quad (39)$$

ausgedrückt werden können.

Zersetzen wir also 1 Aeq. salpetersaures Kali mit 1, 2, 4 Aeq. Schwefelsäure, so würde die Wärmeentwicklung sich verhalten wie $\frac{1}{2} : \frac{2}{3} : \frac{4}{5}$. Die Wärmeentwicklung steigt mit der Menge der angewandten Säure, wird aber erst für $m = \infty$ gleich C oder gleich der Wärme, wel-

welche einem ganz zersetzten Aequivalente des Salzes entspricht.

Man wird sich erinnern, dafs ich für die Wärmeentwicklung, welche die Säuren durch Vermischung mit Wasser erzeugen, die nämliche Formel gefunden habe.

Wir werden nun sehen, welche Resultate die Versuche gegeben haben.

No.	T	B	t ₁	A	t ₂	t ₃	R'	p. Aeq.
XXXIX. ($\ddot{\text{K}}\ddot{\text{N}}\text{Aq}$, $\ddot{\text{S}}^{\alpha}\text{Aq}$)								
192	14,0	$2\ddot{\text{K}}\ddot{\text{N}}$	14,16	$2\ddot{\text{S}}$	13,85	14,11	157	65
193	14,0	und	14,31	und	13,71	14,12	122	
194	14,0	1000gr	13,71	800gr	15,00	14,32	100	
195	14,0	VVasser	13,14	VVasser	14,50	13,80	140	
196	13,0	$2\ddot{\text{K}}\ddot{\text{N}}$	12,34	$4\ddot{\text{S}}$	13,50	12,95	211	99
197	13,0	und	12,34	und	13,42	12,91	199	
198	13,0	1000gr	12,35	800gr	13,44	12,92	191	
199	13,0	VVasser	12,40	VVasser	13,49	12,97	192	
200	13,3	$2\ddot{\text{K}}\ddot{\text{N}}$	12,29	$8\ddot{\text{S}}$	13,75	13,12	251	111
201	13,3	und	12,96	und	13,55	13,35	216	
202	13,3	1000gr	13,00	1000gr	13,50	13,34	202	
203	13,3	VVasser	13,00	VVasser	13,44	13,32	221	

Hier haben wir also drei Reihen Versuche; ein Aeq. salpetersaures Kali ist durch 1, 2 und 4 Aeq. Schwefelsäure zersetzt worden, und die entwickelte Wärme ist 65, 99 und 111 Wärmeeinheiten. Der Formel (39) zufolge sollte die entwickelte Wärme sich wie $\frac{1}{2}:\frac{2}{3}:\frac{4}{3}$ verhalten; nun ist aber

$$65:\frac{1}{2}=130$$

$$99:\frac{2}{3}=148$$

$$111:\frac{4}{3}=134.$$

Es stimmen also die Resultate hinlänglich mit der Formel überein. Als Mittel erhält man $C=140$, und

$$\frac{1}{2}C=70$$

$$\frac{2}{3}C=93$$

$$\frac{4}{3}C=111$$

was mit den oben erhaltenen Gröfsen übereinstimmt.

Wie vorhin entwickelt worden, ist aber

$$C = (K Aq, \ddot{S} Aq) - (\ddot{K} Aq, \ddot{N} Aq) = 278^{\circ}$$

während der aus den Versuchen abgeleitete Werth 140° ist. Es scheint also, daß die Zersetzung von einer anderen wärmebindenden Wirkung begleitet ist, über deren Natur fernere Versuche Aufklärung geben müssen. Wie dem auch sey, so zeigen doch die Versuche deutlich, daß die Schwefelsäure nicht die Salpetersäure vollständig aus ihrem in Wasser gelöstem Salze auszuschcheiden vermag, und daß der Grad der Ausscheidung von der Menge der Schwefelsäure abhängig ist.

Bei der Zersetzung des chloresäuren Kalis mittelst Schwefelsäure zeigt sich ein ganz ähnliches Verhältniß; die Versuche sind folgende;

No.	T	B	t _b	A	t _a	t _c	R'	Mittel
XL. ($\ddot{K} \ddot{Cl} Aq, \ddot{S}^a Aq$)								
204	18,3	$\left. \begin{array}{l} \ddot{K} \ddot{Cl} \\ \text{und} \\ 1000^{gr} \\ \text{VVasser} \end{array} \right\}$	18,51	$\left. \begin{array}{l} \ddot{S} \\ a=500 \\ 4\ddot{S} \\ a=600 \end{array} \right\}$	18,12	18,43	71	$\left. \begin{array}{l} 73 \\ 75 \\ 118 \\ 127 \end{array} \right\}$
205	18,3		18,40		18,00	18,32	75	
206	18,3		18,40		18,60	18,54	118	
207	18,3		18,38		18,62	18,54	127	

Es ist in den Versuchen 1 Aeq. chloresäures Kali mit 1 und 4 Aeq. Schwefelsäure zersetzt worden, es sollen also die Wärmemengen sich wie $\frac{1}{2} : \frac{4}{3}$ verhalten. Nun ist

$$\frac{1}{2} \cdot 150 = 75$$

$$\frac{4}{3} \cdot 150 = 120$$

was mit den Versuchen hinlänglich übereinstimmt.

§. 31.

Ein von dem besprochenen Verhältnisse ganz verschiedenes Verhalten zeigen die unvollständigen Säuren, wenn ihre Salze durch eine vollständige Säure wie die Schwefelsäure oder die Salpetersäure zersetzt werden. Ich stelle erst die Versuche dar und werde sie demnächst besprechen. Es ist $a = 500$, $b = 1000$ gr.

No.	T	B	t _b	A	t _a	t _c	R'	Mittel
XLI. (NaB ³ Aq, S ^α Aq)								
208	15,8	NaB ³	14,92	$\frac{1}{2}$ S	16,90	15,74	295	288
209	15,8		15,00		16,79	15,75	281	
210	15,8		14,94		16,78	15,85	507	
211	15,8		14,98	2S	16,60	15,83	522	515
212	15,8		15,02		16,34	15,79	548	
213	15,8		15,07		16,18	15,78	559	

In den Versuchen ist also ein Aeq. des doppelt borsau-
ren Natrons mit $\frac{1}{2}$, 1 und 2 Aeq. Schwefelsäure zersetzt
worden, und die Wärmeentwicklung 288, 515 und 553°
gewesen. Betrachten wir erst die mittlere Gröfse. Es ist
den angeführten Versuchen zufolge

$$(\text{Na Aq, S Aq}) - (\text{Na Aq, B}^3 \text{ Aq}) = 1921 - 1415 = 506^\circ$$

Durch Zersetzung des NaB³ mittelst 1 Aeq. Schwefel-
säure ist 515° gefunden; es zeigt also dieses, dafs die Bor-
säure durch die Schwefelsäure *vollständig* aus ihrer Ver-
bindung mit dem Natron geschieden worden ist.

Wendet man nur ein halbes Aeq. Schwefelsäure an,
dann ist die entwickelte Wärme zusammengesetzt aus zwei
Gröfsen; erstens ist sie $\frac{1}{2} \cdot 506$, weil nur $\frac{1}{2}$ Aeq. Schwefel-
säure zugegen ist, und zweitens verbindet sich die freige-
wordene Borsäure mit der anderen Hälfte des Salzes. Es
ist also die ganze Wärme

$$\frac{1}{2} [(\text{Na Aq, S Aq}) - (\text{Na Aq, B}^3 \text{ Aq})] + \frac{1}{2} (\text{NaB}^3 \text{ Aq, B}^3 \text{ Aq}) \\ = 253 + \frac{1}{2} \cdot 53 = 280^\circ$$

welches ganz mit dem Resultate des Versuches überein-
stimmt.

Werden aber zwei Aeq. Schwefelsäure angewendet, dann
ist die entwickelte Wärme 553°, also um 47° gröfser, als
sie zufolge der Zersetzung seyn sollte. Es ist also die
Frage, ob nicht das eine freie Aeq. Schwefelsäure auf die
in Freiheit gesetzte Borsäure zu wirken vermöge, und der
Ueberschufs an Wärme von einer solchen Wirkung her-
rühre. Der Versuch hat es bestätigt:

$$\text{Es ist } A = 1,5 \text{ B, } a = 500$$

No.	T	B	b	t _b	t _a	t _c	R'	Mittel
XLII. ($\ddot{B} \text{ Aq. } \ddot{S}^{\alpha} \text{ Aq.}$)								
214	18,6	} \ddot{S}	500	{	19,58	18,88	19,28	34
215	18,6				19,25	18,90	19,12	38
216	18,6	} $3\ddot{S}$	1000	{	19,03	18,90	19,03	65
217	18,6				19,02	18,90	19,03	76
								36
								70

Es zeigt sich also aus diesen Versuchen, daß *freie Borsäure auf freie Schwefelsäure wirkt* und Wärme entwickelt, und daß also der Ueberschuß an Wärme beim Zersetzungsversuche des borsäuren Natrons mittelst zwei Aeq. Schwefelsäure von dieser Wirkung herrührt.

Eine eben so vollständige Zersetzung bewirkt bei den phosphorsauren Salzen die Schwefelsäure; $\frac{1}{3}$ Aeq. des dreibasischen phosphorsauren Natron ($\ddot{N}a^3\ddot{P}$) wurde mit 1 Aeq. Schwefelsäure zersetzt, also mit so viel Schwefelsäure als nothwendig war, um die Basis zu neutralisiren. Es war $a = 500$, $b = 1000$ gr.

No.	T	B	t _b	A	t _a	t _c	R'
XLIII. ($\ddot{N}a^3\ddot{P}Aq, \ddot{S}^3Aq$)							
218	21,4	} $\frac{1}{3}\ddot{N}a^3\ddot{P}$	{ 21,04 }	} \ddot{S}	{ 21,94 }	21,62	501
219	21,4					20,89	21,87	21,50	513

Das Mittel aus den Versuchen ist 507° ; nun entwickelt aber die Schwefelsäure durch Neutralisation mit dem Natron 1921° , also sind durch die Zersetzung des phosphorsauren Natron verschluckt worden $1921 - 507 = 1414^{\circ}$. Durch Bildung des dreifach phosphorsauren Natron entwickelt sich aber 4133° , also für jedes Aeq. Natron im Salze 1378° , welche GröÙe von der oben gefundenen 1414 nur um 36° abweicht. Es zeigt dieses, daß die Phosphorsäure durch die Schwefelsäure *vollständig* aus ihrer Verbindung mit dem Natron ausgetrieben worden ist.

Es ist höchst wahrscheinlich, daß die Kieselsäure eben so wie die Borsäure und Phosphorsäure vollständig aus ihren Salzen mittelst vollständiger Säuren ausgetrieben werde. Auf diese Weise konnte ich denn die Neutralisa-

tionswärme der Kieselsäure bestimmen, indem ich das kieselsaure Kali durch Salpetersäure zersetzte; die Kieselsäure blieb in der Lösung und selbst nach acht Tagen hatte sich die Lösung nicht einmal getrübt. Die Versuche sind folgende: $a = 500$, $b = 1000$ gr.

No.	T	B	t_b	A	t_a	t_c	R'
XLIV. ($\ddot{K}\ddot{Si}^4Aq$, $\ddot{N}Aq$)							
220	18,0	} \ddot{N}	{ 17,16	{ $\ddot{K}\ddot{Si}^4$	18,26	17,90	609
221	18,0				18,21	18,10	599

Das Mittel aus den Versuchen ist 604° , und da nun $(\ddot{K}Aq, \ddot{N}Aq) = 1643$, erhält man, wie oben gezeigt worden ist, $(\ddot{K}Aq, \ddot{Si}^4Aq) = 1039^\circ$.

§. 32.

Es geht also aus den gesammten Versuchen hervor, dafs es unter den Säuren wenigstens zwei Gruppen giebt, die sich durch ihre Eigenschaften wesentlich unterscheiden.

Die Säuren der einen Gruppe, die vollständigen Säuren, wie z. B. die Schwefelsäure, Salpetersäure, Chlorsäure u. s. w., vereinigen sich stets in einem constanten Verhältnisse mit den Basen in der wäfsrigen Lösung; es ist die wahre Neutralisation.

Die Säuren der anderen Gruppe dagegen, wie die Borsäure, Phosphorsäure, Kieselsäure u. s. w., vereinigen sich in der wäfsrigen Lösung nicht in bestimmten Verhältnissen mit der Basis; sie wirken durch ihre Masse, und der Grad der Sättigung der Basis ist von der Masse der Säure abhängig.

Die Säuren der letzteren Gruppe sind in der wäfsrigen Lösung als schwache Säuren zu betrachten; denn sie werden von den Säuren der ersten Gruppe vollständig aus ihren Salzen ausgeschieden.

Die Säuren der ersten Gruppe können sich dagegen nicht gegenseitig vollständig aus ihren Verbindungen ausscheiden; sie wirken dann durch ihre Masse, und der Grad der Zer-

setzung ist von der Masse der hinzugefügten Säure abhängig.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß unter den basischen Oxyden gleiche Verschiedenheiten existiren, daß es unter ihnen Körper giebt, die nicht fähig sind die Säuren vollständig zu neutralisiren. Die Schwierigkeit, die Sache auf thermo-chemischem Wege zu untersuchen, liegt in der Unlöslichkeit der Oxyde. Es findet sich zwischen den starken Säuren und den starken Basen ein vollständiger Uebergang, so daß man nur mit Unsicherheit bestimmen kann, ob diejenigen Oxyde, die an der Gränze liegen, der einen oder anderen Seite angehörig sind. In der Reihe der Oxyde sind die Säuren und Basen mit stark hervortretendem Charakter durch eine Reihe von Oxyden, denen die Fähigkeit des Neutralisirens mehr oder weniger fehlt, getrennt. Unter diesen Oxyden, denen ein bestimmter Charakter abgeht, trifft man die mannigfaltigsten Verbindungen, gerade weil ihnen das Bestreben fehlt sich nach bestimmten Verhältnissen zu verbinden. Hierher gehört wahrscheinlich auch das Wasser, denn sein Verhalten gegen die übrigen Oxyde spricht ganz für die Meinung; das Wasser ist nicht im Stande, weder die Säuren noch die Basen zu neutralisiren, wohl aber ihre stark hervortretenden Eigenschaften zu dämpfen, und in einem Grade, welcher von der Masse des Wassers abhängig ist. Das Wasser wird, wie die Phosphorsäure, stark von den Alkalien gebunden, aber doch vollständig von diesen durch eine Säure geschieden, ebenso wie die Verbindungen des Wassers mit den Säuren von den Basen vollständig zersetzt werden.

Die Analogie mit dem Wasser stellt sich namentlich bei der Kieselsäure deutlich heraus; denn ihr thermisches Verhalten gegen die Basen ist ganz analog dem, welches das Wasser gegen die starken Oxyde zeigt. Man wird sich erinnern, daß die Wärmeentwicklung, welche durch Mischung eines Aeq. von einem Oxyd mit a Aeq. Wasser entsteht, durch die Formel (29)

$$W_a = \frac{a}{a+n} C$$

ausgedrückt wird. Diese ist aber auch die Formel, welche die Wärmeentwicklung ausdrückt, welche durch Verbindung der Kieselsäure mit dem Kali entsteht. Berechnet man durch die Methode der kleinsten Quadrate den Werth der Constanten n und C , so erhält man:

$$n = 5,467$$

$$C = 2484^\circ$$

und die Formel wird also

$$W. = (\text{K Aq}, a \text{ Si Aq}) = \frac{a}{a + 5,467} 2484^\circ \quad (40)$$

Aus dieser Formel berechnen sich folgende Werthe

a	(K Aq, a Si Aq)	
	Theorie	Versuch
$\frac{1}{2}$	208	201
1	384	391
$1\frac{1}{2}$	535	546
2	665	669
4	1049	1039

Die Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der Versuche und den aus der Formel berechneten Werthen ist deutlich.

Bei der Borsäure und der Phosphorsäure ist das Verhältniß ein zusammengesetzteres, denn da tritt zugleich der bestimmtere Charakter der Säure hervor; bei der Kieselsäure aber, der das Neutralisationsvermögen, wenigstens in wässrigen Lösungen, fast durchaus fehlt, zeigt sich die Wirkung der Masse deutlich. Ein ähnliches Verhältniß wird man gewiß bei vielen Oxyden finden, besonders bei denen, die einen indifferenten oder amphoterischen Charakter besitzen und den Uebergang zwischen den Säuren und Basen bilden.

In der wässrigen Lösung tritt die Kieselsäure in ihren Verbindungen nur mit höchstens 4 Aeq. gegen 1 Aeq. Basis auf; in der Mineralogie dagegen findet man die Kieselsäure in fast allen möglichen Verhältnissen, gewiß nur deshalb, weil ihr ein bestimmter Charakter fehlt. Wäre

es nicht natürlicher die Kieselsäure in den Mineralien wie ein dem Wasser ähnlichen Körper zu betrachten als wie eine Säure? Man würde wenigstens dadurch viele der complicirten Formeln, welche doch die wahre Zusammensetzung nicht ausdrücken, vereinfachen können.

(Fortsetzung folgt).

IV. Ueber die Anwendung des Cyankaliums in der analytischen Chemie; von Heinr. Rose.

(Fortsetzung und Schluss von Bd. 90, S. 208).

III. Wismuthverbindungen.

Wird *Wismuthoxyd* mit Cyankalium geschmolzen, so erhält man eine durchsichtige Masse, auf deren Boden die ganze Menge des reducirten Wismuths zu einer grossen Kugel zusammengeschmolzen liegt. Aufser dieser Kugel findet man beim Auflösen der geschmolzenen Masse nur Spuren von pulverförmigem schwarzem Wismuth. In der vom metallischen Wismuth getrennten klaren farblosen Lösung kann durch Schwefelwasserstoffwasser und durch Schwefelammonium keine Bräunung erhalten werden. Das Wismuth wird so vollständig aus dem Oxyde durch Cyankalium reducirt, dafs man sich desselben bei quantitativen Untersuchungen bedienen können. 1,547 Grm. Wismuthoxyd, das durch Glühen des basisch-salpetersauren Salzes erhalten war, gaben 1,382 Grm. oder 89,33 Proc. metallisches Wismuth, das mit reinem Wasser ausgewaschen wurde. Im Oxyde sind 89,65 Proc. Metall enthalten.

Auch *Schwefelwismuth* mit Cyankalium geschmolzen wird vollständig zu metallischem Wismuth reducirt. Da das Schwefelwismuth von dem Schwefelarsenik und dem Schwefelantimon, mit welchem letzteren es besonders Aehnlichkeit hat, sich dadurch wesentlich unterscheidet, dafs es

kein Sulfid ist, und keine Schwefelsalze mit basischen Schwefelmetallen zu bilden im Stande ist, welche der Zersetzung mittelst des Cyankaliums widerstehen wie jene Schwefelmetalle, so wird beim Schmelzen mit demselben nur Rhodankalium gebildet und Wismuth ausgeschieden. Die vom reducirten Metalle getrennte Flüssigkeit enthält kein Wismuth; mit Chlorwasserstoffsäure gesättigt, entwickelte sich eine Spur Schwefelwasserstoff, so daß sich etwas Schwefelkalium gebildet haben muß. Durch Zusatz von Eisenchlorid färbte sich die Lösung tief blutroth.

Das Schwefelwismuth war durch Fällung einer Lösung von salpetersaurem Wismuthoxyd in Salpetersäure mittelst Schwefelwasserstoffgas erhalten worden.

1,159 Grm. desselben mittelst Schmelzens mit Cyankalium reducirt gaben 0,930 Grm. metallisches Wismuth, das mit kaltem Wasser ausgewaschen wurde. Diefes entspricht nur 80,24 Proc. Wismuth im angewandten Schwefelwismuth, während nach der Berechnung darin 81,20 Proc. enthalten seyn müßten. Aber aus demselben Schwefelwismuth konnte durch Behandlung mit Salpetersäure, und Fällung des Wismuthoxyds durch kohlsaures Ammoniak von 1,196 Grm. nur 1,051 Grm. davon erhalten werden, die nur 78,81 Proc. Wismuth entsprechen. — Das angewandte Schwefelmetall war daher nicht von gleicher Beschaffenheit. Uebrigens bin ich der Meinung, daß im Schwefelwismuth eben so gut wie im Wismuthoxyd die Menge des darin enthaltenen Metalls mittelst des Schmelzens mit Cyankalium gut und richtig bestimmt werden kann.

Beim Schmelzen findet ein Sprützen statt. Geschieht dasselbe in einem kleinen Porcellantiegel, so wird etwas von der schmelzenden Masse gegen die Unterseite des Deckels gesprützt; und etwas vom Schwefelwismuth entzieht sich dadurch der Einwirkung des schmelzenden Cyankaliums. Wenn man daher das ausgewaschene reducirte Wismuth nach dem Zerreiben mit Chlorwasserstoffsäure behandelt, so entsteht oft dadurch ein sehr schwacher Geruch nach Schwefelwasserstoff, der sich nicht zeigt, wenn

das Schmelzen in einem größeren Tiegel stattgefunden hatte, und durch Sprützen nichts von der schmelzenden Masse gegen den Deckel gesebleudert worden war.

Während Schwefelwismuth leicht durch Chlorwasserstoffsäure unter Entwicklung von Schwefelwasserstoffgas zersetzt wird, widersteht das aus Wismuthoxydlösungen mittelst Schwefelwasserstoff gefällte Schwefelmetall der Oxydation durch die Luft und zwar besser als andere durch Schwefelwasserstoff gefällte Schwefelmetalle. Es kann sehr lange bei 100° C. getrocknet werden, ohne eine Gewichtsveränderung zu erleiden. Wird es bis zu 200° erhitzt, so verliert es 0,13 Proc.; erhöht man die Temperatur bis zur dunkelsten Rothgluth, so verliert es noch 0,54 Proc., also im Ganzen 0,67 Proc. Wiederholt derselben dunklen Rothgluth ausgesetzt, wurde es nicht mehr im Gewicht verändert. — Es ist bekannt, daß das Schwefelwismuth bei erhöhter Temperatur Schwefel verliert, aber erst bei einer höheren Temperatur als bei der dunkelsten Rothgluth. Ich lasse es daher unausgemacht, ob der geringe Gewichtsverlust beim Erhitzen des Schwefelwismuths in Schwefel bestanden habe, oder vielleicht wie bei dem ihm ähnlichen Schwefelantimon in Wasser.

IV. Bleiverbindungen.

Bleioxyd mit Cyankalium im Porcellantiegel geschmolzen wird vollständig reducirt. Man erhält nach Behandlung der geschmolzenen Masse mit Wasser fast alles reducirt Blei als eine Kugel, und nur eine sehr geringe Menge desselben im pulverförmigen Zustande.

In der Lösung können auf keine Weise Spuren von Blei nachgewiesen werden. Weder Schwefelwasserstoffwasser erzeugte darin eine Bräunung, noch konnte dieselbe nach gänzlicher Zerstörung des Cyankaliums durch Schwefelsäure oder Chlorwasserstoffsäure und Abdampfung bis zur Trockniss durch Schwefelammonium hervorgebracht werden. Wurde indessen das reducirt Blei mit der Lösung der geschmolzenen Masse sehr lange in Berührung

gelassen, so konnte zwar in dieser durch Schwefelammonium keine Bräunung wahrgenommen werden, wohl aber konnte, obgleich eine sehr schwache, hervorgebracht werden, wenn die filtrirte Lösung nach dieser eben erwähnten Weise behandelt wurde.

0,926 Grm. reines Bleioxyd mit Cyankalium geschmolzen gaben 0,861 Grm. metallisches Blei oder 92,98 Proc., das zuletzt mit verdünntem Alkohol ausgewaschen wurde. Es hätten 0,860 Grm. oder 92,83 Proc. erhalten werden müssen.

Man sieht, daß man sich mit Vortheil des Cyankaliums zur quantitativen Bestimmung des Blei's im Bleioxyd bedienen kann; doch ist es anzurathen, das reducirte Metall zuletzt mit verdünntem Alkohol auszuwaschen, und nicht zu lange mit der wässrigen Lösung der geschmolzenen Masse in Berührung zu lassen.

Wichtiger als die Bestimmung des Bleis im Bleioxyd ist die im *schwefelsauren Bleioxyd*, welche nach den bisherigen Methoden mit einigen Schwierigkeiten verknüpft ist. Sie gelingt vortrefflich mittelst des Cyankaliums.

2,313 Grm. vom schwefelsauren Bleioxyd mit der vierfachen Menge von Cyankalium geschmolzen gaben 1,586 Grm. metallisches Blei oder 68,57 Proc. Der Rechnung nach sind in jener Menge 68,31 Proc. enthalten.

Das Blei wird aus dem schwefelsauren Bleioxyd durch Cyankalium gewöhnlich nicht in einer grossen Kugel, sondern in mehreren Kügelchen, die sich vollständig ausplatteten ließen und als schwarzes Pulver reducirt, das zuletzt mit verdünntem Alkohol ausgewaschen und bei 100° C. getrocknet wurde. Dieses Pulver, so wie die ausgeplatteten Kugeln entwickelten beim Erhitzen mit Chlorwasserstoffsäure nicht den mindesten Geruch nach Schwefelwasserstoff. Es war indessen die Schwefelsäure aber nur zu einem sehr kleinen Theile reducirt und Rhodankalium gebildet worden, denn die wässrige Lösung der geschmolzenen Masse wurde nach der Neutralisirung mit Chlorwasserstoffsäure durch Eisenchloridlösung blutroth, indessen nicht sehr stark;

mit Chlorbaryum hingegen gab sie einen sehr starken Niederschlag von schwefelsaurer Baryterde.

Andere schwefelsauren Salze, deren Basen durch Cyankalium nicht zu Metall reducirt werden wie z. B. schwefelsaures Kali veranlassen beim Schmelzen mit Cyankalium nicht die Bildung von Rhodankalium, wenigstens nicht bei den Temperaturen welche ich anwendete. Bei den schwefelsauren Salzen, deren Basen durch Cyankalium beim Schmelzen zum Theil oder vollständig reducirt werden, findet die Entstehung von Rhodankalium gewöhnlich statt, in einigen Fällen indessen nicht, wie z. B. beim schwefelsauren Kobaltoxyd.

Wird *phosphorsaures Bleioxyd* mit Cyankalium zusammengeschmolzen, so wird das Bleioxyd zu Metall reducirt, das aber nicht zu einer großen Kugel sondern zu vielen kleinen Körnern zusammengeschmolzen erhalten wird. Wenn das Schmelzen nur kurze Zeit gewährt, und bei zu niedriger Temperatur stattgefunden hat, so enthält nach Behandlung der geschmolzenen Masse mit Wasser die vom metallischen Blei getrennte Flüssigkeit noch Bleioxyd, und es wird in ihr ein Niederschlag von Schwefelblei durch Schwefelwasserstoffwasser erzeugt. Die Lösung ist aber ganz frei von Bleioxyd, wenn die Temperatur beim Schmelzen hinreichend hoch gewesen ist. Wird die wässrige Lösung mit Salpetersäure übersättigt, und der größte Theil der Cyanwasserstoffsäure durch gelindes Erwärmen verjagt, so bringt salpetersaures Silberoxyd nur einen geringen Niederschlag von Cyansilber hervor, nach dessen Abscheidung durch Sättigung vermittelt Ammoniaks gelbes phosphorsaures Silberoxyd gefällt wird. Die Phosphorsäure wird also beim Schmelzen des phosphorsauren Bleioxyds mit Cyankalium nicht reducirt.

Wird *Schwefelblei* mit Cyankalium geschmolzen, so wird es reducirt; es bildet sich Rhodankalium und metallisches Blei. Letzteres scheidet sich als eine oder einige Kugeln und als schwarzes Pulver aus. Jene lassen sich vollkommen ausplatten; das schwarze Pulver aber, so oft ich es

auch aus dem Schwefelblei durch Cyankalium dargestellt habe, entwickelte, mit erhitzter Chlorwasserstoffsäure behandelt, deutlich einen schwachen Geruch nach Schwefelwasserstoff. Es war dies der Fall, wenn Schwefelblei angewendet wurde, das sowohl auf trockenem als auch auf nassem Wege dargestellt worden war. — Die vom metallischen Blei getrennte Lösung enthält keine Spuren von Blei.

Zu den quantitativen Versuchen wurde Schwefelblei angewandt, das aus einer Auflösung von essigsaurem Bleioxyd, zu welcher noch freie Essigsäure hinzugefügt worden war, vermittelst Schwefelwasserstoffs gefällt worden. Nach dem Auswaschen wurde dasselbe bei 100° C. getrocknet.

0,988 Grm. von demselben, mit der fünffachen Menge von Cyankalium geschmolzen, gaben 0,809 Grm. metallisches Blei, oder 81,88 Proc. Dies ist bedeutend weniger als im reinen Schwefelblei wirklich enthalten ist, denn dies enthält 86,57 Proc. metallisches Blei. Als von dem zur Untersuchung angewandten Schwefelblei nach dem Trocknen bei 100° 1,550 Grm. durch Salpetersäure oxydirt worden, wurden 1,841 Grm. schwefelsaures Bleioxyd, in welchem 80,78 Proc. metallisches Blei enthalten sind, erhalten. Die grössere Menge des durch Schmelzen mit Cyankalium erhaltenen Bleis rührt offenbar davon her, daß in diesem noch etwas Schwefel vorhanden war.

Bei einem anderen Versuche wurden aus 1,065 Grm. des bei 100° C. getrockneten Schwefelbleis durchs Schmelzen mit Cyankalium 0,828 Grm. oder nur 77,78 Proc. metallisches Blei erhalten, das mit verdünntem Alkohol ausgewaschen wurde. Von demselben Schwefelblei gaben durch die Behandlung mit Salpetersäure 0,904 Grm. 1,002 Grm schwefelsaures Bleioxyd, die 75,66 Proc. metallischem Blei entsprechen, also ebenfalls etwas weniger, als die Reduction vermittelst Cyankaliums gegeben hatte.

Es folgt aus diesen Versuchen, daß das Schwefelblei nicht ganz vollständig durch Cyankalium in metallisches Blei verwandelt wird; das erhaltene Blei enthält immer

noch eine kleine Menge von Schwefel, auch wenn das Schmelzen längere Zeit fortgesetzt wird.

Aber es folgt auch aus diesen Versuchen offenbar, daß das durch Schwefelwasserstoff aus Bleioxydlösungen erhaltene, und bei 100° getrocknete Schwefelblei nicht rein seyn kann, sondern bedeutend weniger Blei enthält, als ihm nach der Berechnung zukommt.

Man bestimmt das Blei, wenn man es in Auflösungen von anderen Metallen getrennt hat, sehr häufig als Schwefelblei, nachdem es durch Schwefelwasserstoffgas aus den Auflösungen des Oxyds gefällt worden ist. Auch ich bin bisjetzt der Meinung gewesen, daß diese Bestimmung des Bleis eine genaue sey, da das Schwefelblei während des Filtrirens an der Luft sich nicht zu oxydiren scheint ¹⁾. Diefes ist indessen nicht der Fall; während des Trocknens bei 100° C. nimmt das Gewicht des Schwefelmetalls so zu, daß die Berechnung des Bleies daraus mit großer Unsicherheit verbunden ist. Schwefelblei, welches aus einer Auflösung des essigsauren Bleioxyds durch Schwefelwasserstoffgas gefällt, und das so lange mit schwefelwasserstoffhaltigem Wasser ausgewaschen worden war, bis das Waschwasser das Lackmuspapier nicht mehr rüthete, nahm, nachdem es bei 100° getrocknet und gewogen worden, innerhalb 4 Tagen um 4,05 Proc. an Gewicht zu, nach welcher Zeit letzteres dann ferner ziemlich unverändert blieb.

2,540 Grm. salpetersaures Bleioxyd wurden nach der Lösung in Wasser durch Schwefelwasserstoffgas vollständig als Schwefelblei gefällt, und auf einem gewogenen Filtrum so lange mit schwefelwasserstoffhaltigem Wasser ausgewaschen, bis Lackmuspapier nicht mehr vom Waschwasser geröthet wurde. Es wurden 1,879 Grm. bei 100° C. getrockneten Schwefelbleis erhalten, dessen Gewicht sich aber bis 1,914 Grm. vermehrte, als es noch länger der Temperatur von 100° C. ausgesetzt wurde, sich dann aber ferner nicht mehr an Gewicht zu verändern schien. Der ange-

1) Ausführliches Handbuch der analyt. Chemie, Bd. 2, S. 174.

wandten Menge des salpetersauren Bleioxyds entspricht nach der Berechnung nur 1,835 Grm. Schwefelblei.

Ich hoffte die Oxydation des fein zertheilten Schwefelbleis auf die Weise zu verhindern, daß, nachdem es nach der Fällung aus einer Lösung von salpetersaurem Bleioxyd mittelst des Schwefelwasserstoffgases so lange ausgewaschen worden, daß das Waschwasser das Lackmuspapier nicht mehr röthete, es sogleich mit Alkohol übergossen, und nach dessen Abfließen rasch bei 100° getrocknet wurde. Aber auch durch diesen Handgriff wurde kein genaues Resultat erhalten. 1,243 Grm. salpetersauren Bleioxyds, die 0,898 Grm. Schwefelblei, oder 62,56 Proc. Blei entsprechen, gaben auf diese Weise 0,922 Grm. Schwefelblei, welche von 64,20 Proc. Blei ein Aeq. sind.

Man sieht aus diesen Versuchen, daß die Bestimmung des Bleis in Auflösungen aus dem Gewicht des durch Schwefelwasserstoff erhaltenen Schwefelbleis ungenau ist. Man wird daher gezwungen seyn, das auf die erwähnte Weise erhaltene Schwefelblei in Zukunft in schwefelsaures Bleioxyd zu verwandeln, wenn daraus die Menge des Bleis mit Genauigkeit berechnet werden soll.

Es ist schon früher erwähnt worden, wie sich Schwefelblei mit Schwefelarsenik gemengt beim Zusammenschmelzen mit Cyankalium verhält ¹⁾. Wurde Bleioxyd und etwas Schwefelarsenik, AsS^3 , mit Cyankalium in einem Glaskölbchen zusammengeschmolzen, so erhielt ich einen unbedeutenden Spiegel von metallischem Arsenik, doch nur weil nicht die hinreichende Menge von Bleioxyd hinzugefügt worden, oder weil vielleicht das Schwefelarsenik von dem Cyankalium früher zersetzt wird, ehe dasselbe auf das Bleioxyd wirken kann. Geschieht die Schmelzung mit größeren Mengen in einem kleinen Porcellantiegel, und wird die geschmolzene Masse mit Wasser behandelt, so bleiben große Kugeln von metallischem Blei und ein schwarzes Pulver ungelöst, das mit Chlorwasserstoffsäure erhitzt, Schwefelwasserstoffgas entwickelte, und mit Soda auf Kohle

1) Pogg. Ann., Bd. 90, S. 197.

in der Löthrohrflamme geschmolzen nur einen sehr schwachen Geruch nach Arsenik verbreitete. Dahingegen rochen die großen Bleikugeln auf Kohle geschmolzen sehr stark nach Arsenik; sie ließen sich zwar auf dem Ambos ausplatten, waren aber härter als reines Blei. — Die filtrirte wässrige Lösung gab durch die Sättigung vermittelt Chlorwasserstoffsäure einen Niederschlag von gelbem Schwefelarsenik, und in der getrennten schwach sauren Flüssigkeit wurde durch Eisenchloridlösung eine blutrothe Färbung hervorgebracht. Es hatte sich also ein Schwefelsalz des Arseniks und Rhodankalium gebildet.

V. Zinnverbindungen.

Zinnoxyd mit Cyankalium geschmolzen giebt eine klare durchsichtige Masse, während am Boden sich metallisches Zinn absetzt. Nach dem Erkalten ist die Masse milchweiss. Nach der Auflösung in Wasser bleibt das reducirte Zinn in mehreren kleinen Kügelchen ungelöst zurück. Die filtrirte wässrige Lösung mit Chlorwasserstoffsäure gesättigt giebt mit Schwefelwasserstoffgas eine geringe gelbe Fällung von Schwefelzinn, auch wenn die Lösung sobald wie möglich vom metallischen Zinn abfiltrirt worden. Läßt man hingegen die Lösung längere Zeit mit dem Zinn in Berührung, 24 oder 48 Stunden, so ist die Menge des erhaltenen Schwefelzinns sehr beträchtlich. Löst man die geschmolzene Masse in verdünntem Alkohol auf, und filtrirt so bald wie möglich die Lösung vom metallischen Zinn, so enthält sie kein oder fast kein Zinn, wenigstens ist die Fällung von Schwefelzinn in der mit Salzsäure gesättigten Lösung ganz außerordentlich gering.

Jedenfalls scheint die Reduction des Zinns vermittelt des Cyankaliums nicht zu einer quantitativen Bestimmung dieses Metalls benutzt werden zu können. Abgesehen davon daß die Lösung der geschmolzenen Masse mehr oder weniger Zinn enthalten kann, wenn man dazu nicht waserhaltigen Alkohol angewandt hat, so scheint ein Theil des

des Zinnoxyds lange der reducirenden Wirkung des Cyankaliums zu widerstehen, und dieß ist die Ursache, daß beim Schmelzen die kleinen Kügelchen des reducirten Metalls nicht zu einer großen Kugel zusammenfließen können.

Sonderbar verhält sich das wasserfreie *Zinnoxydul* beim Schmelzen mit Cyankalium. Bringt man dasselbe in einen Porcellantiegel, legt Stücke von Cyankalium darauf, und erhitzt bis zum Schmelzen des letzteren, so wird das Pulver des Oxyduls von dem dünnflüssigen leicht schmelzbaren Cyankalium nicht benetzt, wodurch die Reduction des Oxyduls sehr erschwert wird. Rührt man um, so kommt das Oxydul zum Theil an die Oberfläche und oxydirt sich hier größtentheils durch den Zutritt der Luft zu Oxyd. Diese sonderbare Erscheinung konnte nicht verhindert werden, wenn das Zinnoxydul vor dem Schmelzen mit Wasser oder Alkohol angerieben wurde. Nach längerem Schmelzen wurde Zinn reducirt, das nach Behandlung der Masse mit Wasser als kleine Kügelchen ungelöst blieb, gemengt mit noch vielem oxydirtem Zinn.

Entwässertes *Zinnchlorür* mit Cyankalium zusammengeschmolzen giebt eine zuerst schwer, beim längeren Erhitzen aber leicht schmelzende Masse, welche nach dem Erkalten eine bräunliche Farbe hat. Sie löst sich im Wasser mit Zurücklassung von metallischem Zinn, das gewöhnlich nach längerem Schmelzen eine oder einige zusammenhängende Kugeln bildet, und von einer sehr geringen Menge eines bräunlichen Pulvers, das Zinnoxydul ist, denn es löst sich leicht in Chlorwasserstoffsäure, und diese Lösung giebt mit Schwefelwasserstoffwasser einen braunen Niederschlag. Dieses Zinnoxydul ist durch etwas zu starke Hitze beim Entwässern des Chlorürs entstanden. Die filtrirte wässrige Lösung enthält Spuren von Zinnoxyd, doch kaum, wenn die geschmolzene Masse in verdünntem Alkohol gelöst worden war. — Enthält das entwässerte Zinnchlorür kein Zinnoxydul, so ist die mit Cyankalium geschmolzene

Masse weiß und hinterläßt bei der Auflösung in Wasser kein braunes Oxydul.

Wird *schwarzes Schwefelzinn* mit Cyankalium zusammengeschmolzen, so wird die Masse, welche während des Schmelzens stark steigt, braun, aber nach dem Erkalten gelblich. Sie löst sich in Wasser unter Abscheidung eines braunen Pulvers, und mit Zurücklassung von einem bedeutenden Zinnkorn auf, das sich wie reines Zinn ausplatteln läßt. Die filtrirte Lösung enthält kein Rhodankalium; mit Chlorwasserstoffsäure etwas übersättigt, wird unter Entwicklung von Cyanwasserstoff — und Schwefelwasserstoffgas gelbes Schwefelzinn gefällt.

Das braune Pulver löste sich nach dem Filtriren durch das heiße Waschwasser zu einer braunen Flüssigkeit auf, die alkalisch reagirte. Wurde sie durch Chlorwasserstoffsäure übersättigt, so entwickelte sich etwas Schwefelwasserstoff und es schied sich braunes Schwefelzinn ab. In der filtrirten Lösung zeigte Eisenchlorid nicht die Gegenwart des Rhodankaliums an.

Beim Schmelzen mit Cyankalium hatte also das schwarze Schwefelzinn unter Abscheidung von metallischem Zinn sich in das höchste Schwefelzinn verwandelt, das sich als Sulphid mit erzeugtem Schwefelkalium zu einem im Wasser löslichen Schwefelsalze verband, welches der Einwirkung des Cyankaliums widersteht, zugleich hatte sich noch etwas Zinnsulphuret mit Schwefelkalium zu einer in heißem Wasser löslichen Verbindung vereinigt.

Auf trockenem Wege dargestelltes *gelbes Zinnsulphid* (Musivgold) mit Cyankalium geschmolzen, giebt eine Masse, welche im flüssigen Zustande rothbraun aussieht, nach dem Erkalten aber ganz weiß wird. Sie löst sich vollständig in Wasser und in wasserhaltigem Weingeist auf, ohne metallisches Zinn zu hinterlassen; nur bisweilen wird eine sehr kleine Menge von Metall reducirt. Die Lösung giebt, mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure gesättigt, einen Niederschlag von gelbem Schwefelzinn; in der filtrirten Lösung zeigt Eisenchlorid die Abwesenheit von Rhodanka-

lium an; nur bisweilen zeigen sich schwache Spuren davon, indem dadurch die Flüssigkeit sehr schwach röthlich wird.

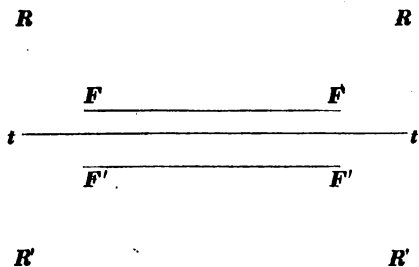
Es sind also die Schwefelverbindungen von Zinn, von Antimon und von Arsenik, welche mit Cyankalium geschmolzen die Bildung von im Wasser löslichen Schwefelsalzen veranlassen, wodurch eine quantitative Bestimmung dieser Metalle unmöglich wird, die nur bei den oxydirten Verbindungen derselben möglich wäre, aber aus ausführlich erwähnten Gründen auch dann nicht von hinreichender Genauigkeit ist. — Das Verhalten der Schwefelverbindungen der erwähnten Metalle gegen Cyankalium ist aber insofern wesentlich von einander verschieden, als nur das Schwefelzinn vollständig durch Schmelzen mit Cyankalium in ein Schwefelsalz verwandelt wird, während vom Schwefelantimon und Schwefelarsenik nur ein Theil ein Schwefelsalz bildet, ein anderer Theil des Schwefelmetalls aber unter Bildung von Rhodankalium zu Metall reducirt wird. Es kann daher nur bei denjenigen Schwefelmetallen, welche beim Schmelzen mit Cyankalium kein Schwefelsalz und unter Abscheidung von Metall nur Rhodankalium bilden, wie Schwefelwismuth und Schwefelblei, die richtige Menge des Metalls durch Reduction mittelst Cyankaliums gefunden werden. Dafs beim Schwefelblei dies nicht vollständig zu erlangen ist, ist oben bemerkt worden.

V. *Herleitung der Fresnel'schen Reflexionsformeln; von Beer in Bonn.*

Die Gesetze, welche die Intensitätsverhältnisse des Lichtes bei seinem Uebergange aus einem amorphen Mittel in das andere regeln, finden — wie dies schon lange bekannt ist — nur in gewissen seltenen Fällen ihren genauen Ausdruck in den sogenannten Fresnel'schen Formeln, da

nämlich, wo eine vollkommen geradlinige Polarisation durch Reflexion möglich ist. Im Allgemeinen aber zeigt, wie die sorgfältigen Untersuchungen Jamin's ergeben haben, ein geradlinig polarisirter Strahl nach der Spiegelung elliptische Polarisation. Auf die Nothwendigkeit dieser Erscheinung hat Cauchy zuerst aufmerksam gemacht, und bereits seit den dreißiger Jahren hat er für die dabei waltenden Gesetze eine Reihe von Formeln veröffentlicht, ohne jedoch deren Ableitung ganz mitzuthemen. Diese Formeln kommen mit den Ergebnissen des Versuches so vollständig überein, als es nur gewünscht werden kann, und schliessen als specielle Fälle die Fresnel'schen Formeln ein. Gleichwohl muß nach den interessanten Bemerkungen, welche Hr. S. Haughton in dem Aufsätze »*On the Reflexion of Polarized Light from the Surface of Transparent Bodies* 1)« gemacht hat, die *unbedingte* Annahme der Cauchy'schen Formeln einstweilen noch beanstandet werden: die von Haughton gehörig modificirten Formeln Green's geben die Erscheinungen ebenso genau wieder, wie die von Cauchy, obgleich sie der Form nach von diesen verschieden sind. Bei solcher Sachlage hat die gesonderte Betrachtung der von Jamin sogenannten *neutralen* Reflexion, wo vollkommen geradlinige Polarisation stattfinden kann, immer noch ein Interesse, an das wir zu Gunsten folgender Herleitung der Fresnel'schen Formeln appelliren.

Von den beiden durch eine Ebene tt von einander getrennten Mitteln machen wir die Unterstellung, daß die von ihnen eingeschlossenen Aethermassen sich wie homogene einfache Systeme von gleichartigen Massenpunkten verhalten, die von inneren Elasticitätskräften sollicitirt werden. Jedes der Systeme für sich ist bis zu einer



1) *Phil. Mag.* 1853, Vol. VI. p. 81.

gewissen sehr kleinen Entfernung von der Trennungsfläche hin als isotrop zu betrachten. In der Nähe der letzteren Fläche aber findet ein zwar außerordentlich rascher, aber doch stetiger Uebergang aus dem Zustande des Aethers in dem einen Mittel in den des zweiten Mittels statt. Für das erste Mittel, das optisch dünnere, sey $FFtt$ der Raum, in welchem die Constitution des Aethers durch die Nähe des zweiten Mittels eine Modification erleidet. In allen Punkten einer mit tt parallelen Ebene ist auch in jenem Raume die Beschaffenheit des Aethers genau dieselbe. Die Entfernung zwischen FF und tt denken wir uns als gegen die Wellenlänge verschwindend. Analoges gilt für das zweite optisch dichtere Mittel. Die auf letzteres bezüglichen Grössen werden wir stets accentuiren.

Cauchy hat gezeigt, dafs man für eine Bewegung des homogenen Aethers, welche in Oscillationen besteht, deren Amplitude gegen die Entfernung zweier Aethertheilchen stets verschwindet, habe:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\xi}{dt^2} = & \sum m f \cdot \frac{\Delta x}{\Delta r} + \sum m \left(\frac{f}{\Delta r} + \varphi \cdot \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) \Delta \xi + \sum m \varphi \cdot \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta r^3} \cdot \Delta \eta \\ & + \sum m \varphi \cdot \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta r^3} \cdot \Delta \zeta \\ & \text{etc.} \end{aligned}$$

Besteht die Bewegung in der Fortpflanzung ebener Wellen, deren Länge gegen die Entfernung zweier Aethertheilchen sehr grofs ist, und deren Gleichung $l = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - E)$ ist, so gehen die obigen Gleichungen der Bewegung in folgende über:

$$\begin{aligned} \text{I. } \frac{d^2\xi}{dt^2} = & \sum m f \cdot \frac{\Delta x}{\Delta r} + \xi \sum m \left(\frac{f}{\Delta r} + \varphi \cdot \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) \left(-2 \sin \frac{\pi}{\lambda} \Delta E^2 \right) \\ & + \eta \sum m \varphi \cdot \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta r^3} \left(-2 \sin \frac{\pi}{\lambda} \Delta E^2 \right) \\ & + \zeta \sum m \varphi \cdot \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta r^3} \left(-2 \sin \frac{\pi}{\lambda} \Delta E^2 \right) \\ & + \frac{d\xi}{dE} \sum m \left(\frac{f}{\Delta r} + \varphi \cdot \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \\ & + \frac{d\eta}{dE} \sum m \varphi \cdot \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta r^3} \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \\ & + \frac{d\zeta}{dE} \sum m \varphi \cdot \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta r^3} \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \cdot \frac{\lambda}{2\pi}, \text{ etc.} \end{aligned}$$

Hat man es aber mit einer Bewegung zu thun, die zwar dieselbe Periode wie die eben erwähnte hat, übrigens aber ganz beliebig ist, so läßt sich dieselbe darstellen durch die Gleichungen

$$\xi = r \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - E) \text{ etc.},$$

wo r und die analogen Größen Functionen der Coordinaten sind. Alsdann findet man aus den erst erwähnten Gleichungen solche, die sich von der Gleichung I. etc. dadurch unterscheiden, daß rechts neue Glieder hinzutreten. Diese sind z. B. für die beschleunigende Kraft $\frac{d^2\xi}{dt^2}$, wenn wir die Entwicklung nach den ersten Gliedern abbrechen, folgende:

$$\xi \sum m \left(\frac{f}{Ar} + \varphi \cdot \frac{\Delta x^2}{Ar^3} \right) \left(\frac{dx}{dx} \Delta x + \frac{dx}{dy} \Delta y + \frac{dx}{dz} \Delta z \right) \cdot \frac{1}{x},$$

$$\eta \sum m \varphi \cdot \frac{\Delta x \Delta y}{Ar^3} \left(\frac{dy}{dx} \Delta x + \frac{dy}{dy} \Delta y + \frac{dy}{dz} \Delta z \right) \cdot \frac{1}{y}$$

und

$$\zeta \sum m \varphi \frac{\Delta x \Delta z}{Ar^3} \left(\frac{dz}{dx} \Delta x + \frac{dz}{dy} \Delta y + \frac{dz}{dz} \Delta z \right) \cdot \frac{1}{z}.$$

Die auf solche Weise entstehenden Gleichungen wollen wir die Gleichungen II. nennen. In unserem Falle werden die Gleichungen I. für die Räume $RRFF$ und $R'R'F'F'$, die Gleichungen II. für den Raum $FFFF'F'$ in Anwendung zu bringen seyn. Der Einfachheit wegen lassen wir die z -Axe mit dem Einfallslothe und die Ebene xz mit der Einfallsebene zusammenfallen, wodurch in den Ausdrücken für $\frac{d^2\xi}{dt^2}$ und $\frac{d^2\zeta}{dt^2}$ die Glieder mit η und $\frac{d\eta}{dE}$ verschwinden werden, sowie in dem Ausdrucke für $\frac{d^2\eta}{dt^2}$ alle Glieder mit ξ , ζ , $\frac{d\xi}{dE}$ und $\frac{d\zeta}{dE}$ verschwinden, da wir die Oscillationen parallel und senkrecht zur Einfallsebene gesondert erörtern wollen.

Betrachten wir nun in dem Falle von Schwingungen, die der Ebene xz parallel sind, den Ausdruck für die beschleunigende Kraft in einem der isotropen Räume näher,

so bemerken wir, daß er aus drei wesentlich verschiedenen Theilen besteht. Der erste Theil mit den Componenten $\Sigma m f \cdot \frac{\Delta x}{\Delta r}$ und $\Sigma m f \cdot \frac{\Delta z}{\Delta r}$ ist von dem Ausschlage unabhängig und verschwindet, da die Mittel isotrop sind. Der zweite Theil mit den Componenten

$$\begin{aligned} & \xi \Sigma m \left(\frac{f}{\Delta r} + \varphi \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) \left(-2 \sin \frac{\pi}{\lambda} \Delta E^2 \right) \\ & + \zeta \Sigma m \varphi \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta r^3} \left(-2 \sin \frac{\pi}{\lambda} \Delta E^2 \right) \text{ etc.} \end{aligned}$$

ist der GröÙe des Ausschlages proportional und treibt für sich allein das Theilchen nach der Ruhelage zurück. Der dritte Theil p endlich mit den Componenten

$$\begin{aligned} & \frac{d\xi}{dE} \Sigma m \left(\frac{f}{\Delta r} + \varphi \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \\ & + \frac{d\zeta}{dE} \Sigma m \varphi \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta r^3} \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \text{ etc.} \end{aligned}$$

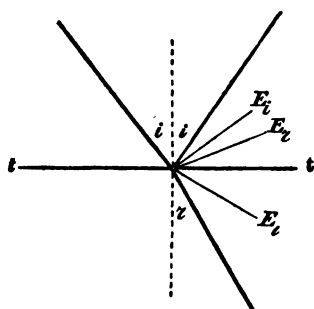
kann betrachtet werden als aus zwei Theilen zusammengesetzt, von denen der eine, τ , herrührt von derjenigen Aethermasse, welche oberhalb einer Ebene liegt, die durch das betrachtete Theilchen der Ebene tt parallel gelegt wird, während der zweite Theil τ' von der unterhalb jener Ebene befindlichen Aethermasse herrührt. In dem isotropen Aether sind die Kräfte τ und τ' genau gleich und entgegengesetzt gerichtet, so daß die Kraft p , deren Periode eine andere als die der zweit erwähnten Kraft ist, ganz verschwindet. So wird das Gesetz erhalten, daß die beschleunigende Kraft nach der Ruhelage gerichtet, und dem Ausschlage proportional ist. Analoges gilt, wenn die Schwingungen der y -Axe parallel sind. In ähnlicher Weise ist die beschleunigende Kraft in dem Raume $FFF'F'$ zusammengesetzt; auch hier unterscheiden wir eine Theilkraft von constanter GröÙe, eine zweite, welche dieselbe Periode wie der Ausschlag hat, und eine dritte, die ebenfalls periodisch ist, aber anders als die vorige Kraft. Bei Schwingungen, die der Einfallsebene parallel sind, hat man z. B. für die x -Componenten jener Kräfte:

$$\Sigma m f \cdot \frac{\Delta x}{\Delta r}, \quad \xi \Sigma m \left(\frac{f}{\Delta r} + \varphi \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) \left(-2 \sin \frac{\pi}{\lambda} \Delta E^2 \right) \\ + \zeta \Sigma m \varphi \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta r^3} \left(-2 \sin \frac{\pi}{\lambda} \Delta E^2 \right)$$

und

$$\xi \Sigma m \left(\frac{f}{\Delta r} + \varphi \cdot \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) \left(\frac{dx}{dx} \Delta x + \frac{dz}{dz} \Delta z \right) \cdot \frac{1}{x} \\ + \zeta \Sigma m \varphi \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta r^3} \left(\frac{dx}{dx} \Delta x + \frac{dz}{dz} \Delta z \right) \cdot \frac{1}{z} \\ + \frac{d\xi}{dE} \Sigma m \left(\frac{f}{\Delta r} + \varphi \cdot \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \\ + \frac{d\zeta}{dE} \Sigma m \varphi \cdot \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta r^3} \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \cdot \frac{\lambda}{2\pi}.$$

Unsere Annahme über die Beschaffenheit des Aethers und der Bewegung im Raume $FFF'F'$ besteht nun darin, daß die dritte Theilskraft p auch hier verschwinde, und daß dieß durch ein solches Arrangement der Bewegung bewirkt werde, welches die absolute Gröfse der oben mit τ und τ' bezeichneten Kräfte erhält. Dieß verhindert nicht, daß sich die mit der Einfallsebene parallelen Ausschläge beim Uebergange von FF nach $F'F'$ außerordentlich rasch, aber doch stetig in Gröfse und Richtung ändern, wie dieß aus den Gleichungen II, zu ersehen ist. Der mathematische Ausdruck unserer obigen Hypothese über die Gränzverhältnisse bei tt wird erhalten, wenn wir den Ausdruck für τ an der Gränze FF wie er sich aus der Bewegung in dem isotropen Raume $RRFF$ ergibt, gleich setzen dem Ausdrucke für $-\tau'$ an der Gränze $F'F'$, wie letzterer sich durch die Bewegung im isotropen Raume $R'R'F'F'$ bestimmt. Dieß soll nun für die beiden Fälle, wo das einfallende, mithin auch das gespiegelte und gebrochene Licht senkrecht und parallel der Einfallsebene polarisirt ist, gesondert ausgeführt werden.



Erstens. Die Schwingungen liegen in der Einfallsebene. Die Amplituden a , Componenten und Wellenebenen des einfallenden, gespiegelten und gebrochenen Lichtes, werden bezüglich durch die Marken i , l und r bezeichnet. Der Einfallswinkel ist i , der Brechungswinkel r . Dann ist:

$$E_i = -z \cos i + x \sin i, \quad E_r = z \cos i + x \sin i, \\ E_t = -z \cos r + x \sin r;$$

$$\xi_i = a_i \cos i \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\sigma t - E_i), \quad \eta_i = 0,$$

$$\zeta_i = a_i \sin i \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\sigma t - E_i),$$

$$\xi_r = a_r \cos i \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\sigma t - E_r), \quad \eta_r = 0,$$

$$\zeta_r = -a_r \sin i \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\sigma t - E_r),$$

$$\xi_t = a_t \cos r \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda'} (\sigma' t - E_t), \quad \eta_t = 0,$$

$$\zeta_t = a_t \sin r \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda'} (\sigma' t - E_t).$$

Ferner ist:

$$\xi = \xi_i + \xi_r, \quad \eta = 0, \quad \zeta = \zeta_i + \zeta_r,$$

$$\xi' = \xi_t, \quad \eta' = 0, \quad \zeta' = \zeta_t.$$

Wenn sich nun das Summenzeichen S auf die oberhalb FF oder unterhalb $F'F'$ gelegene Aethermasse bezieht, so schreibt sich mit einer leicht verständlichen Abkürzung für einen Punkt der Fläche FF die x -Componente von τ :

$$\frac{d\xi}{dE} Sm \left(\frac{f}{Ar} + \varphi \frac{Ax^2}{Ar^3} \right) \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) + \frac{d\zeta}{dE} Sm \varphi \frac{\Delta x \Delta z}{Ar^3} \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \\ [\text{für } z=0],$$

und für einen Punkt der Ebene $F'F'$ hat man als x -Componente von τ' :

$$\begin{aligned} \frac{d\xi'}{dE'} Sm' \left(\frac{f'}{\Delta r'} + \varphi' \frac{\Delta x'^2}{\Delta r'^3} \right) \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda'} \Delta E' \right) \\ + \frac{d\xi'}{dE'} Sm' \varphi' \frac{\Delta x' \Delta z'}{\Delta r'^3} \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda'} \Delta E' \right) [\text{für } z=0]. \end{aligned}$$

Ähnliche Ausdrücke ergeben sich für die z -Componenten. Als Ausdruck unserer Hypothese finden wir hier-
nach die folgenden für $z=0$ bestehenden Gleichungen:

$$\begin{aligned} \frac{d\xi}{dE} Sm \left(\frac{f}{\Delta r} + \varphi \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \\ + \frac{d\zeta}{dE} Sm \varphi \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta r^3} \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \\ - \frac{d\xi'}{dE'} Sm' \left(\frac{f'}{\Delta r'} + \varphi' \frac{\Delta x'^2}{\Delta r'^3} \right) \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda'} \Delta E' \right) \\ - \frac{d\zeta'}{dE'} Sm' \varphi' \frac{\Delta x' \Delta z'}{\Delta r'^3} \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda'} \Delta E' \right), \\ \frac{d\zeta}{dE} Sm \left(\frac{f}{\Delta r} + \varphi \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \\ + \frac{d\xi}{dE} Sm \varphi \frac{\Delta x \Delta z}{\Delta r^3} \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \\ = - \frac{d\zeta'}{dE'} Sm' \left(\frac{f'}{\Delta r'} + \varphi' \frac{\Delta x'^2}{\Delta r'^3} \right) \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda'} \Delta E' \right) \\ - \frac{d\xi'}{dE'} Sm' \varphi' \frac{\Delta x' \Delta z'}{\Delta r'^3} \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda'} \Delta E' \right). \end{aligned}$$

Diese Gleichungen formen wir um, indem wir folgende Umstände berücksichtigen. 1) Da der Actionsradius des Aethers gegen die Wellenlänge sehr klein ist, so darf hier für $\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E$ einfach $\frac{2\pi}{\lambda} \Delta E$ gesetzt werden. 2) In den Summen heben sich alle Glieder mit ungeraden Potenzen von Δx fort, wegen des Isotropismus. 3) Für die Punkte der Ebenen FF' und $F'F'$ zieht sich der Bogen in den periodischen Functionen auf $\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x \sin i) = \frac{2\pi}{\lambda'} (\nu' t - x \sin r)$ zurück. 4) In Folge des Brechungsgesetzes hat man $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{\nu}{\nu'}$. 5) In den auf das zweite Mittel bezüglichen Ausdrücken sind sämtliche Δz negativ. Diese Umstände also berücksichtigt, erhalten wir nach Substitution

der Werthe von ξ , ξ' , ζ und ζ' , und wenn wir die Δz stets positiv nehmen, folgende neue Gleichungen:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\lambda} (a_i - a_r) \left[Sm \left(f \frac{\Delta z}{\Delta r} + \varphi \frac{\Delta x^2 \Delta z}{\Delta r^3} \right) \right. \\ & \quad \left. - \sin i^2 Sm \left(f \frac{\Delta z}{\Delta r} + 2 \varphi \frac{\Delta x^2 \Delta z}{\Delta r^3} \right) \right] \\ = & \frac{1}{\lambda'} a_r \left[Sm' \left(f' \frac{\Delta z'}{\Delta r'} + \varphi' \frac{\Delta x'^2 \Delta z'}{\Delta r'^3} \right) \right. \\ & \quad \left. - \sin r^2 Sm' \left(f' \frac{\Delta z'}{\Delta r'} + 2 \varphi' \frac{\Delta x'^2 \Delta z'}{\Delta r'^3} \right) \right], \\ & \cos i (a_i + a_r) Sm \left(f \frac{\Delta z}{\Delta r} + \varphi \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) \\ & = \cos r a_r Sm' \left(f' \frac{\Delta z'}{\Delta r'} + \varphi' \frac{\Delta x'^2}{\Delta r'^3} \right). \end{aligned}$$

Der Unterstellung gemäß haben wir es mit einer Farbe und zwei Mitteln von gewisser Correlation zu thun (mit zwei Mitteln, welche vollkommen geradlinige Polarisation jener Farbe durch Spiegelung gestatten). Es werden also gewisse Beziehungen zwischen den Constanten der Mittel und der Farbe bestehen; dieß sollen folgende seyn:

$$\begin{aligned} 1) \quad & Sm \left(f \frac{\Delta z}{\Delta r} + \varphi \frac{\Delta x^2 \Delta z}{\Delta r^3} \right) = Sm' \left(f' \frac{\Delta z'}{\Delta r'} + \varphi' \frac{\Delta x'^2 \Delta z'}{\Delta r'^3} \right), \\ 2) \quad & \sin i^2 Sm \left(f \frac{\Delta z}{\Delta r} + 2 \varphi \frac{\Delta x^2 \Delta z}{\Delta r^3} \right) \\ & = \sin r^2 Sm' \left(f' \frac{\Delta z'}{\Delta r'} + 2 \varphi' \frac{\Delta x'^2 \Delta z'}{\Delta r'^3} \right), \\ 3) \quad & Sm \left(f \frac{\Delta z}{\Delta r} + \varphi \frac{\Delta x^2}{\Delta r^3} \right) = Sm' \left(f' \frac{\Delta z'}{\Delta r'} + \varphi' \frac{\Delta x'^2}{\Delta r'^3} \right). \end{aligned}$$

Der Bestand der ersten Gleichung zieht, da die Mittel isotrop sind, noch die folgende nach sich:

$$1') \quad Sm \left(f \frac{\Delta z}{\Delta r} + \varphi \frac{\Delta y^2 \Delta z}{\Delta r^3} \right) = Sm' \left(f' \frac{\Delta z'}{\Delta r'} + \varphi' \frac{\Delta y'^2 \Delta z'}{\Delta r'^3} \right).$$

Und da sich $\sin i^2$ und $\sin r^2$ wie v^2 und v'^2 verhalten, so kann man noch für die Gleichung (2) die folgende hinstellen, welche lediglich Constanten der Mittel und der Farbe enthält:

$$2') \quad v^2 Sm \left(f \frac{\Delta z}{\Delta r} + 2 \varphi \frac{\Delta x^2 \Delta z}{\Delta r^3} \right) = v'^2 Sm' \left(f' \frac{\Delta z'}{\Delta r'} + 2 \varphi' \frac{\Delta x'^2 \Delta z'}{\Delta r'^3} \right).$$

Bei Unterstellung obiger Gleichungen nun leiten wir aus den weiter oben gefundenen Beziehungen folgende neue ab:

$$\frac{1}{\lambda} (a_i - a_r) = \frac{1}{\lambda'} a_r, \quad \cos i \cdot (a_i + a_r) = \cos r a_r.$$

Hieraus reducirt man ohne Weiteres das unserem Falle entsprechende Paar der Fresnel'schen Formeln, nämlich:

$$a_i = \frac{\tan(r-i)}{\tan(r+i)} a_r, \quad a_r = \frac{2 \sin r \cdot \cos i}{\sin(r+i) \cos(r-i)} a_i.$$

Zweitens. Die Schwingungen mit den Amplituden b stehen auf der Einfallsebene senkrecht.

Wir haben hier:

$$\xi = \xi' = 0, \quad \zeta = \zeta' = 0, \\ \eta = \eta_i + \eta_r, \quad \eta' = \eta_r;$$

$$\eta_i = b_i \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i), \quad \eta_r = b_r \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_r),$$

$$\eta_r = b_r \sin \frac{2\pi}{\lambda'} (\nu' t - E_r).$$

Die Hypothese über die Gränzverhältnisse liefert für $z=0$:

$$\frac{d\eta}{dE} \operatorname{Sm} \left(\frac{f}{\Delta r} + \varphi \frac{\Delta y^2}{\Delta r^3} \right) \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda} \Delta E \right) \\ = \frac{d\eta'}{dE'} \operatorname{Sm}' \left(\frac{f'}{\Delta r'} + \varphi' \frac{\Delta y'^2}{\Delta r'^3} \right) \left(\sin \frac{2\pi}{\lambda'} \Delta E' \right).$$

Hieraus findet man nach Substitution der Werthe von η und η' , E und E' und mit Rücksicht auf die Gleichung (1') zuvörderst:

$$1) \frac{\cos i}{\lambda} (b_i - b_r) = \frac{\cos r}{\lambda'} b_r.$$

In dem Falle, wo sich die Richtung der Oscillationen beim Uebergange von FF zu $F'F'$ änderte, erschien es aus eben diesem Grunde nothwendig anzunehmen, dafs sich die Amplituden ebenfalls änderten: aus den alsdann geltenden Fresnel'schen Formeln folgt, dafs dabei nur die zur Trennungsebene senkrechten Componenten eine Aenderung erleiden, die mit jener Ebene parallelen Componenten aber ihre Gröfse bewahren. Wenn nun die Schwingungen senkrecht zur Einfallsebene, also auch parallel mit der Trennungsfläche vor sich gehen, so erscheint die Annahme einer

Aenderung der Amplitude nicht allein nicht gerechtfertigt, sondern sogar unstatthaft. Läßt man nämlich die Ebenen FF und $F'F'$ unmittelbar aneinander stoßen, so daß ein plötzlicher Uebergang aus dem ersten Mittel in das zweite stattfindet, so ergibt sich für ein Theilchen der Trennungsfläche genau dieselbe beschleunigende Kraft in Folge der im ersten Mittel stattfindenden Bewegung wie auch in Folge der des zweiten Mittels, sobald außer der Gleichheit (1) auch noch die Gleichheit der Ausschläge in beiden Mitteln statuirt wird. Wir lassen deshalb auch bei dem wirklich stattfindenden stetigen Uebergange zu der Gleichung (1) noch die folgende treten:

$$\eta = \eta',$$

oder

$$2) \quad b_i + b_r = b_t.$$

Aus den Gleichungen (1) und (2) findet man das zweite Paar der Fresnel'schen Formeln, nämlich:

$$b_i = \frac{\sin(r-i)}{\sin(r+i)} b_t, \quad b_r = \frac{2 \sin r \cdot \cos i}{\sin(r+i)} b_t.$$

Gegen die obige Begründung der Gleichung (2) könnte man erinnern, daß man sie auch für die der Einfallsebene parallelen Schwingungen gelten lassen könnte; man bemerke aber, daß *hier* die Annahme der Gleichung (2) im Widerspruche mit unserer Hypothese über die Gränzverhältnisse stände, während dies bei den zur Einfallsebene senkrechten Schwingungen nicht der Fall ist.

VI. *Ueber die beim Ausströmen der Luft entstehenden Töne; von C. Sondhaufs.*

(Eine vom Hrn. Verf. mitgetheilte Abhandlung des Programms der Realschule zu Neisse i. J. 1853).

Der interessanteste Körper für den Akustiker ist unstreitig die Luft, nicht bloß in sofern dieselbe als Schallleiter in den meisten Fällen uns die Wahrnehmung des Schalles vermittelt, sondern auch dadurch, daß sie innerhalb fester Hüllen (Pfeifen) stehende Schwingungen annimmt und somit als selbsttönender Körper auftritt. Die Mannigfaltigkeit der Blasinstrumente in Beziehung auf Gestalt, Dimension und Eigenthümlichkeit des Tons zeigt schon, daß kein Körper gleich der Luft geeignet ist, die höchsten wie die tiefsten Töne zu erzeugen und eine gleiche Mannigfaltigkeit in Beziehung auf den Charakter des Tons darzubieten. Hierzu kommt noch die Bequemlichkeit und Sicherheit, mit welcher die in den Pfeifen von der verschiedensten Gestalt eingeschlossenen Luftkörper durch einen Luftstrom zum Tönen gebracht werden können, wodurch die Construction des großartigsten aller musikalischen Instrumente, nämlich der Orgel, möglich wurde. Die Orgel ist älter als die Theorie des Schalles, denn die Orgelbauer verstanden schon lange ihre Pfeifen vortrefflich anzufertigen, bevor die Akustiker die Schwingungen der Luft in denselben erklärt und gemessen haben.

So interessant das Tönen der Luft ist, so schwierig ist die Untersuchung desselben. Die tönenden Schwingungen der Stäbe, der Saiten, der Klangscheiben und der elastischen Membranen sind im Allgemeinen als bekannt und erklärt zu betrachten und die an diesen schwingenden Körpern zuerst beobachteten Erscheinungen und die für dieselben gültigen Gesetze sind den Akustikern bei der schwierigeren Untersuchung der Vibrationen der Luft hülfsreiche Führer gewesen. Dagegen bietet sich in Beziehung auf

die tönenden Schwingungen der Luft trotz der Arbeiten ausgezeichneter Akustiker, wie Chladni, Weber, Savart, Seebeck und Wertheim, immer noch eine Menge Fragen dar, welche bisjetzt noch nicht beantwortet werden konnten. Wir kennen z. B. die Schwingungsweise der in den Orgelpfeifen enthaltenen Luftsäulen, können aber darüber noch nicht hinreichend Auskunft geben, wie der über die Aufschnittsöffnung streichende Luftstrom diese Schwingungen erzeugt. Ebenso sind die Töne, welche der Wind bei seinem Durchgang durch Ritze erzeugt, so wie die pfeifenden Töne, die wir mit dem Munde hervorbringen können, noch keineswegs hinreichend erklärt.

1. Es ist mir angenehm, zur Erklärung dieser Erscheinungen einen kleinen Beitrag liefern zu können. Ich habe mich nämlich schon seit längerer Zeit mit der Untersuchung der Frage beschäftigt, unter welchen Umständen ein aus einer Oeffnung ins Freie tretender Luftstrom tönt oder Töne erzeugt, und habe dabei gefunden, daß Töne unter gewissen Umständen entstehen, welche meines Wissens noch nicht bekannt geworden sind. Die Veranlassung zu meinen Versuchen war die zufällige Beobachtung eines solchen Tons, welcher bei einer anderen Operation entstand. Ich wollte nämlich ein prismatisches Gefäß, in dessen beiden Grundflächen sich durch Schrauben schließbare Oeffnungen befanden, rasch trocknen und trieb deshalb mittelst eines doppelten Blasebalgs einen Luftstrom durch dasselbe. Hierbei wurde, wenn der Luftstrom beim Herabsinken des oberen Blasebalgs schwach werdend versiegte, jedesmal ein hoher pfeifender Ton hörbar. Es stellte sich leicht heraus, daß das Gefäß und die darin enthaltene Luft nicht vibrirten, sondern daß der Ton in der untern mit einem Schraubengewinde versehenen Oeffnung, durch welche die Luft einströmte, entstand, wie denn auch andere Schraubenmütter, die ich, auf einem durchbohrten Kork befestigt, auf das Rohr des Blasetisches setzte, eben solche Töne hören ließen. Diese Töne waren meistens sehr hoch und änderten sich in Beziehung auf ihre Höhe

mit dem Luftdruck, entstanden aber nur bei geringem Luftdrucke.

Um diese meines Wissens noch nicht bekannte Erscheinung aufzuklären, suchte ich durch Versuche zu ermitteln, unter welchen Bedingungen beim Ausfließen der Luft aus Oeffnungen von verschiedener Beschaffenheit überhaupt Töne entstehen, wobei ich die Frage über jenen in der Schraubenmutter entstandenen räthselhaften Ton gleichfalls zu lösen hoffte.

Die ersten Resultate meiner Versuche habe ich schon in einer am 14. October 1848 abgehaltenen Sitzung der naturwissenschaftlichen Section der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur mitgetheilt ¹⁾; die weitere Untersuchung hat sich jedoch, weil meine Zeit durch meine amtliche Beschäftigung und durch einige andere Arbeiten zu sehr in Anspruch genommen war, sehr in die Länge gezogen und kann auch jetzt noch nicht als abgeschlossen angesehen werden. Doch glaube ich mit der Veröffentlichung des bis jetzt Gefundenen nicht länger zögern zu dürfen.

2. Der wichtigste Theil meines Apparates ist ein mit einem doppelten Blasebalg versehener Blasetisch, dessen oberer Blasebalg senkrecht aufsteigt und mittelst einer über Rollen gelegten Schnur und eines Gegengewichtes so erleichtert werden kann, daß die Luft nur mit geringem Drucke ausströmt. Das Windrohr steht senkrecht und ist 1" weit und ungefähr $1\frac{3}{4}$ ' lang. Anfänglich setzte ich die Oeffnungen, durch welche ich die Luft strömen lassen wollte, mittelst durchbohrter Korkstöpsel unmittelbar auf das Rohr des Blasetisches, später wendete ich, weil die Messung des Luftdruckes nothwendig war, einen hölzernen Hohlcyylinder an, welcher durch eine an der Seite angebrachte Oeffnung mit einem Wassermanometer verbunden und außerdem noch mit einer Vorrichtung versehen

1) Uebersicht der Arbeiten und Veränderungen der Schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur im Jahre 1848 S. 41.

hen war, um dem aus der Oeffnung tretenden Luftstrome verschiedene kleine Apparate entgegenhalten zu können. Nachdem ich mich durch die vorläufigen Versuche über die Bedingungen, die ein zu Messungen geeigneter Apparat zu erfüllen hätte, orientirt hatte, liefs ich den in Fig. 4 Taf. II abgebildeten Apparat anfertigen. *aabb* ist ein Glascylinder von 16,2 Centm. Höhe und von 6,2 Centm. Durchmesser, welcher oben und unten mit Messingfassungen versehen ist. Die untere Fassung bildet den Boden des Gefäßes, in dessen Mitte das Messingrohr *cc* so eingeköthet ist, dafs es auch nach innen einen halben Zoll vorsteht, damit das eingegossene Wasser nicht durch das Rohr *cc* ausfließe. In der Bodenplatte ist noch das Manometerrohr *dd* eingekittet. Die obere Fassung ist nur ein offener Messingreif, welcher zur Befestigung des verticalen Maafsstabes *ff* dient und beledert ist, um verschiedene passende Blechfassungen, welche mit Ausflufsöffnungen versehen sind, winddicht aufsetzen zu können. Der Maafsstab *ff* ist mit einem Nonius *gg* versehen, an welchem mittelst einer Klemmschraube *h* die Gegenstände befestigt werden, gegen welche in verschiedener aber bestimmter Entfernung der Luftstrom stoßen soll. Dieser Apparat wird mit dem von außen belederten Rohr *cc* in das Windrohr des Blasetisches eingesetzt und dient zugleich als Luftreservoir, als Träger der Ausflufsöffnungen, als Manometer und Distanzmesser. Der verticale Maafsstab ist in Pariser Linien eingetheilt; sein unterer Theil dient dazu, die Höhe des Wassers in dem Manometerrohre abzulesen ¹⁾. An dem oberen Theil des Maafsstabes können die Distanzen von der Ausflufsöffnung mit Hülfe des Nonius bis auf 0,1 Pariser Linie genau bestimmt werden.

3. Ich fand mit diesem Apparate zunächst, wie sich auch bei den früheren Versuchen entschieden herausgestellt

1) Da im Verlaufe der Versuche eine genauere Ablesung der Wasserhöhe nothwendig wurde, so habe ich einen papiernen, in Millimeter getheilten Maafsstab unter die Röhre geschoben und nach diesem den Luftdruck bestimmt.

hatte, daß ein durch eine einfache, in einem dünnen Bleche glatt ausgeschnittene Oeffnung von beliebiger Gestalt und Gröfse ins freie tretender Luftstrom keinen Ton erzeugt. Bei einem mäßigen Luftdruck, der einer Wasserhöhe von 1 bis 2 Zoll entspricht, fließt die Luft ganz geräuschlos aus den Oeffnungen und auch bei verstärktem Luftdrucke hört man nur ein Zischen oder Rauschen, in welchem jedoch eine gewisse Tonhöhe obwaltet, die mit dem Luftdrucke zunimmt. Ich bemerke hierbei, daß ich diese Oeffnungen, durch welche die Luft ausströmte, in dünnen Bleiplatten ausschnitt, welche ich auf passende Blechfassungen (Fig. 5, Taf. II) kittete und mittelst derselben auf den oben beschriebenen Apparat aufsetzte. Ich konnte daher die Oeffnungen rasch wechseln und die Versuche unter übrigens gleichen Umständen mit verschiedenen Ausflußöffnungen anstellen.

Wenn der ruhig und ungestört ausfließende Luftstrom keinen Ton erzeugt, so kann man ihn doch dadurch zum Tönen bringen, daß man entweder anderweitig erzeugte Schallwellen auf ihn wirken läßt, ihn also zum Mittönen zwingt, oder ihn gegen die scharfen Kanten eines entgegengehaltenen Körpers stoßen läßt.

Ueber die erste Art der Tonerzeugung kann ich mich, obwohl dieselbe meines Wissens noch nirgends erwähnt oder untersucht worden ist, kurz fassen, da ich bei derselben nicht gerade viele bemerkenswerthe Umstände beobachtet habe, und die Erklärung der Erscheinung keine Schwierigkeiten darbietet. Um die Erscheinung sicher hervorzurufen, lasse ich die Luft durch eine kreisrunde oder rechteckige Oeffnung unter einem bestimmten Drucke von 5 bis 30 Millimeter Wasserhöhe ausströmen und blase in der Nähe der Ausflußöffnung ein kleines Orgelpfeifchen kräftig an. Es tönt dann ein zweiter Ton mit, der in Beziehung auf die Art des Klanges von dem Ton der Pfeife wesentlich verschieden ist, in Beziehung auf die Höhe aber genau mit ihm zusammenhängt. Er ist nämlich in der Regel eine Octave tiefer als der Ton der Pfeife, oft hat er

aber auch genau dieselbe Höhe. Im Uebrigen ist er viel schwächer und hat in seinem Charakter etwas Heiseres, welches ihn dem Tone einer Zungenpfeife ähnlicher macht als einem Flötentone. Läßt man die Luft nicht aus der Oeffnung strömen, so gelingt es nicht, die in dem Glascylinder eingeschlossene Luftsäule zum Schwingen und Tönen zu bringen, so kräftig man auch die Orgelpfeifen anblasen mag; ja es muß sogar die Luft unter einem bestimmten Drucke ausströmen, der von der Höhe der angeblasenen Pfeife abhängt, damit der andere Ton mittönt, und zwar muß die Ausströmungsgeschwindigkeit um so größer seyn, je höher der primäre Ton ist. Dazu kommt noch, daß der secundäre Ton beim successiven Anblasen verschiedener Orgelpfeifen, auch wenn der zweckmäßige Luftdruck vorhanden ist, nicht immer gleich gut und kräftig anspricht und deshalb, um ihn zu erzeugen, die eine Pfeife manchmal in der unmittelbaren Nähe der Ausflußöffnung stark angeblasen werden muß, während man eine andere in der Entfernung von 10 Zoll und darüber halten und mäßig anblasen kann. Man kann sehr leicht den mitklingenden secundären Ton in die höhere Octave übergehen lassen, wenn man den Luftdruck plötzlich verstärkt, so daß er dann mit dem Tone der Pfeife übereinstimmt; dagegen ist es mir nie gelungen, den secundären Ton auch nur einen Moment für sich allein, d. h. nach dem Aufhören des Tons der Pfeife, fort dauern zu lassen.

Ich habe diese Versuche mit kreisförmigen und mit viereckigen Ausflußöffnungen von verschiedener Größe angestellt, von denen die ersteren Durchmesser von 4 bis 8 Millimeter, die anderen Seiten von 3 und 15 Millimeter bis 4 und 33 Millimeter Länge hatten; die angewendeten Pfeifen waren kleine zinnerne Orgelpfeifen, meist aus der 4mal gestrichenen Octave, doch ist es mir auch gelungen, den secundären Ton durch das Anblasen einer Pfeife zu erhalten, welche gis^2 angab.

Beispielsweise gebe ich eine Versuchsreihe an, bei wel-

cher die Ausflußöffnung einen Durchmesser von 4 Millimeter hatte.

Tabelle I.

Ton der angeblasenen Pfeife.	Wasserhöhe im Manometer in Mm.	Der secundäre Ton.
d^5	20 — 24	d^4
c^5	15 — 20	c^4
h^4	15 — 18	h^3
a^4	14 — 16	a^3
g^4	12 — 15	g^3
f^4	9 — 14	f^3
e^4	7 — 10	e^3
d^4	6 — 8	d^3
c^4	5 — 6	c^3
b^4	3 — 4	b^2

Ich muß in Beziehung auf die in der 2ten Columnne angegebene, den Luftdruck bestimmende Höhe der Wassersäule des Manometers bemerken, daß diese Messungen bloß als beiläufig anzusehen sind, da es mir oft durch stärkeres Anblasen der einzelnen Orgelpfeifen gelungen ist, über die angegebenen Gränzen des Luftdruckes hinaus, den secundären Ton zu erzeugen, so daß manchmal zwei bis drei aufeinander folgende Töne auch bei demselben Luftdrucke erzeugt wurden. Außerdem ist der zur Erzeugung des secundären Tons erforderliche Luftdruck ein anderer, wenn die Luft aus einer anderen Ausflußöffnung ausströmt.

Daß bei diesen Tönen die unter der Ausflußöffnung befindliche, also hier in dem Glascylinder enthaltene Luftsäule nicht auf dieselbe Weise, wie in einer Orgelpfeife, schwingt, geht daraus hervor, daß der secundäre Ton dem Tone der angeblasenen Pfeifen durch alle Töne der Octave folgt, und läßt sich auch schon aus seinem schwachen, matten Klange schließen, der von dem Tone einer irgendwie in Schwingung versetzten, und entweder im Ganzen oder in aliquoten Theile getheilten vibrirenden Luftsäule wesentlich abweicht.

4. Durch einen aus einer Oeffnung in dünner Wand ausfliessenden Luftstrom kann, wie ich oben erwähnte, ein Ton erzeugt werden, wenn er gegen eine entgegen gehaltene Schneide oder Spitze stösst. Die Physiker mögen solche Töne schon oft bemerkt haben, denn bei der Anwendung des Löthrohrs und besonders beim Glasblasen sind gar oft die Umstände vorhanden, die zur Erzeugung derselben erforderlich sind; aber die Schwäche und, ich möchte sagen, die Unansehnlichkeit, mit welcher sie hier gewöhnlich auftreten, ist offenbar Ursache gewesen, dass man sie noch keiner besonderen Berücksichtigung gewürdigt hat. Lässt man aber den aus der Oeffnung tretenden Luftstrom unter günstigen Umständen auf Kanten stoßen, hält man über die Ausflufsöffnung z. B. ein Blech, in welchem ein Loch von derselben Grösse und Gestalt ausgeschnitten ist, so entstehen bei ziemlich mässigem Luftdrucke laute und deutliche Töne, die man beliebig oft reproduciren kann, wenn man den Luftstrom unter denselben Umständen durch die Oeffnung streichen lässt. Um sich blofs von der Existenz dieser Töne zu überzeugen, braucht man gar keinen complicirten Apparat. Man durchbohrt einen Kork, kittet darauf eine kleine Blechscheibe, welche in ihrer Mitte ein kleines Loch enthält, hält ein zweites ebensolches Blechscheibchen darüber und treibt mit dem Blasebalg, oder wenn man keinen solchen besitzt, mit dem Munde einen schwachen Luftstrom hindurch. Solche Töne entstehen auch, wenn man, ohne zu pfeifen, mit dem Munde ganz schwach gegen die Schneide eines Messers bläst.

Ich habe, um diese Töne zu studiren, eine große Anzahl von Versuchen unter den mannigfaltigsten Abänderungen der zur Entstehung derselben erforderlichen Umstände angestellt. Ich kittete die Platten von dünnem Bleiblech, in welchen Oeffnungen von verschiedener Grösse und Gestalt ausgeschnitten waren, auf Blechfassungen (Fig. 5), welche auf den belederten Messingring *bb* des Cylinders (Fig. 4) winddicht aufgesetzt wurden. Hierauf wurde der Blasebalg in Thätigkeit gesetzt und der aus der Ausflufs-

öffnung tretende Luftstrom beobachtet. Da die Ausflussoffnungen immer viel kleiner waren als der Querschnitt des Zuflusrohres *cc*, so blieb der als Luftreservoir dienende Glascylinder immer mit Luft von einer bestimmten Spannung gefüllt, welche von der Belastung des oberen senkrecht aufsteigenden Blasebalgs abhing und an der Wasserhöhe in dem Manometerrohre *dd* abgelesen werden konnte. Der Luftdruck war leider, wie das Manometer zeigte, nicht constant, sondern nahm beim Sinken des oberen Blasebalgs ab und stieg ruckweise, wenn durch die Arbeit des untern Balgs neue Luftmassen nach oben getrieben wurden; doch habe ich diesen nicht zu beseitigenden Uebelstand durch sorgfältige und rasche Beobachtung des Manometers so wie durch oftmalige Wiederholung der einzelnen Versuche nach Kräften unschädlich zu machen gesucht. Die Bleche, gegen welche ich den Luftstrom stoßen lassen wollte, befestigte ich mittelst der Klemmschraube *h* an dem auf dem Maassstabe *ff* verschiebbaren Nonius *gg*. Durch diese Einrichtung wurde es nicht bloß möglich, diese Bleche in die gehörige Lage und Entfernung zur Ausflussoffnung zu bringen und in derselben sicher festzuhalten, sondern ich konnte auch die Entfernung derselben messen, indem ich zuerst die Stellung des Nonius am Maassstabe ablas, wenn jene Bleche die Platte mit der Ausflussoffnung berührten, und diese abgelesene Höhe von der Höhe des Nonius in den einzelnen Versuchen abzog. Die Apparate, gegen welche ich den Luftstrom stoßen ließ, waren theils kreisförmige mit einem Stiel versehene Bleiplatten von ungefähr einem Zoll Durchmesser, in welche die verschiedenen Oeffnungen eingeschnitten waren, wie Fig. 7, 8 und 9 darstellen, theils schmale Blechstreifen oder auch kleine kreisförmige Blechscheibchen, welche mittelst eines dünnen Bügels aus Blei an dem Nonius befestigt wurden, wie in Fig. 10, Taf. II dargestellt ist.

5. Ich theile zunächst einige Bemerkungen mit, welche sich auf die Entstehungen der Töne im Allgemeinen beziehen. Die Gestalt und GröÙe der Ausflussoffnung und

der Oeffnung in der darüber gehaltenen Platte, gegen deren Ränder der Luftstrom stößt, sind innerhalb der Grenzen meiner Versuche für die Entstehung der Töne gleichgültig, doch ist dann sowohl ihre Stärke als ihre Höhe verschieden, und man muß, um die Töne zu erzeugen, die Platte in eine andere Entfernung einstellen und einen anderen Luftdruck anwenden. Am besten tönt der Apparat, wenn die in der oberen Platte ausgeschnittene Oeffnung der Ausflußöffnung gleich oder nur wenig größer ist. Ich habe bei meinen Versuchen fast immer dünne Blechplatten angewendet und überdies noch die Ränder der Oeffnungen von der einen Seite zugeschärft; aber die besprochenen Töne entstehen auch, wenn die Ausflußöffnung oder die Oeffnung in der oberen Platte, oder auch beide Oeffnungen in Blechen von einigen Millimetern Dicke angebracht sind; es können sogar die scharfen Ränder der Oeffnungen von einer oder auch an beiden Seiten abgerundet werden. Die Substanz der Platten ist ebenfalls gleichgültig und man kann statt des Metallbleches auch dünne Scheiben von Holz oder Kork, ja sogar von Papier anwenden. Man kann ferner auch die obere Platte so verkleinern, daß sie nur noch einen schmalen, die Oeffnung einschließenden Reif (Fig. 11) vorstellt, oder man kann auch den Luftstrom gegen ein kleines Scheibchen stoßen lassen, welches ungefähr eben so groß ist (Fig. 10) als die Ausflußöffnung, und erhält immer noch dieselben Töne, wenn auch weniger klangvoll. Endlich kann man statt der Platte dem Luftstrome auch das offene Ende einer Röhre entgegenhalten, deren Querschnitt ungefähr gleich der Ausflußöffnung ist, wobei sehr oft auch die in der Röhre enthaltene Luftsäule in Schwingung geräth und ein verstärkter Ton entsteht.

Ich bemerke hier noch, daß man die Platte, welche die Ausflußöffnung enthält, mit der darüber zu haltenden Platte fest verbinden kann, indem man ein kurzes Blechrohr zwischen dieselben löthet. Man kann dies auch so ausführen, daß man auf die Platte mit der Ausflußöffnung einen nie-

drigen Korkring legt und auf denselben die obere Platte so legt, daß ihre Oeffnung sich senkrecht über der Ausflußöffnung befindet. Hierdurch wird ein Luftvolumen zwischen beiden Platten abgegränzt und es hat der Apparat nun im Wesentlichen dieselbe Construction wie das kleine Instrument, welches unter dem Namen Jägerruf oder Vogelruf bekannt ist, und welches die Jäger benutzen, um die Stimmen der Vögel nachzuahmen. Obgleich sich schon mehrere Physiker mit diesem Instrumente beschäftigt haben, so ist die Eigenthümlichkeit der mit demselben erzeugten Töne noch nicht erkannt worden, denn sie dürfen weder zu den Tönen der Labial- noch der Zungenpfeifen gerechnet werden, sondern gehören ohne Zweifel zu den hier betrachteten Tönen.

Die unter den angegebenen Umständen entstehenden Töne sind in Beziehung auf Stärke, Höhe und Eigenthümlichkeit des Klanges verschieden, und ändern sich, wenn in der Einrichtung des Apparates eine Aenderung vorgenommen wird. Die Intensivität der Töne ist im Allgemeinen größer, wenn der Luftstrom mit größerer Geschwindigkeit austritt; jedoch treten oft einzelne Töne besonders schön und klangvoll unter den übrigen hervor, ohne daß ein äußerer begünstigender Umstand zu bemerken ist. Die Töne sind meistens sehr hoch und liegen größtentheils in den Octaven, welche man die drei-, vier- und fünfgestrichenen nennt. Doch entstehen unter später anzugebenden Umständen auch tiefere Töne, welche aber meistens schwach und klanglos sind.

Die Höhe der Töne hängt von der Größe der Ausflußöffnung, von dem Luftdrucke und dem Abstand der von dem Luftstrom gestoßenen Kanten ab, und zwar sind die Töne im Allgemeinen höher, 1) wenn man eine kleinere Ausflußöffnung anwendet, 2) wenn die gestoßene Platte der Ausflußöffnung genähert wird, und 3) wenn die Geschwindigkeit des Luftstromes durch Anwendung eines größeren Druckes vergrößert wird; jedoch ändert sich die Höhe der Töne nicht continuirlich in demselben Sinne, son-

dern die Töne springen, nachdem sie bei abnehmendem Luftdruck oder bei der allmäligen Entfernung der beweglichen Platte von der Ausflufsöffnung successive tiefer geworden sind, plötzlich wieder in einen höheren Ton über, der dann wieder allmäliger tiefer wird. Diese Erscheinung wiederholt sich zwei- bis dreimal und findet auch in der umgekehrten Weise statt, wenn man durch Annäherung der beweglichen Platte oder durch Steigerung des Luftdruckes den Ton höher werden läßt. Manchmal findet die Erhöhung oder Vertiefung des Tones so allmäliger statt, daß man die einzelnen Töne nicht von einander unterscheiden kann; in anderen Fällen aber, wo die beiden Oeffnungen eine andere Stellung oder ein anderes Verhältniß zu einander haben, sind die aufeinanderfolgenden Töne scharf von einander getrennt. In Beziehung auf die Eigenthümlichkeit des Klanges oder den Charakter sind, wie schon bemerkt worden ist, die von mir beobachteten Töne verschieden, denn wenn auch die meisten den Tönen der kleinen Labialpfeifen ähnlich sind, so zeigen sie doch in Beziehung auf Helligkeit und Intensivität eine große Verschiedenheit, und außerdem treten oft mitten unter Pfeifentönen auch eigenthümliche schnarrend und scharf klingende Töne auf, die eher den Tönen der Zungenpfeifen zu vergleichen sind.

6. Bevor ich zu der speciellen Betrachtung der bei dieser Tonerzeugung obwaltenden Umstände übergehe, theile ich eine Reihe von Versuchen mit, die ich mit dem beschriebenen Apparate angestellt habe. Die Ausflufsöffnung war eben so wie die Oeffnung der an dem verschiebbaren Nonius des Maafsstabes befestigten Bleiplatte kreisrund und beide hatten einen Durchmesser von 4 Millimetern. Ich stellte die obere Platte, so weit es aus freier Hand geht, genau so ein, daß ihre Oeffnung senkrecht über die Ausflufsöffnung zu stehen kam, vergrößerte allmäliger den Abstand der beweglichen Platte von der Ausflufsöffnung, las die Stellung des Nonius am Maafsstabe ab und bestimmte mittelst eines Monochords die Höhe der durch den Luft-

strom erzeugten Töne, wobei das Manometer fortwährend beobachtet wurde, um den zu dem Versuche erforderlichen Luftdruck zu erzeugen und zu erhalten. Die Bestimmung der Tonhöhe hat mir große Schwierigkeiten gemacht, weil die Töne theils in Beziehung auf Intensivität und Eigenthümlichkeit des Klanges ungleich sind, theils weil sie schon bei einer geringen Zu- oder Abnahme des Luftdruckes sich ändern. Besonders schwierig war oft die Entscheidung, in welche Octave einzelne Töne gehörten. In der folgenden Tabelle ist in der ersten Columne die Entfernung der obren beweglichen Platte von der Ausflußöffnung in Millimetern angegeben. Da der verticale Maassstab in Pariser Linien eingetheilt war und ich an demselben mit Hülfe des Nonius nur Zehntel-Linien ablesen konnte, so sind die angegebenen Zehntel-Millimeter natürlich nur annähernd richtig. Die zweite Columne enthält die am Manometer abgelesene Wasserhöhe in Millimetern, wobei zu merken ist, daß die hier angegebene Decimalstelle das Resultat der Schätzung ist. In der dritten Spalte habe ich die beobachteten Töne angegeben und in der vierten die denselben angehörenden Schwingungszahlen nach der gleichschwebenden Temperatur beigefügt, und bemerke ausdrücklich, daß ich dieselben bloß als Näherungswerthe betrachte, da ich bei der Bestimmung der Tonhöhe auf die Berücksichtigung der Verschiedenheit des Tones innerhalb einer kleinen Sekunde verzichtet und der jedesmaligen Bestimmung der Schwingungszahl die Angabe des zunächstliegenden musikalischen Tones vorgezogen habe.

Tabelle II.

Ab-stand. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- teter Ton.	Schwin- gungs- zahl.	Ab- stand. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- teter Ton.	Schwin- gungs- zahl.
1,1	60 — 70	<i>cis</i> ⁶ (?)	17358	4,0	5	<i>fis</i> ³	2896
1,3	33 — 35	<i>dis</i> ⁵	9742		6,5	<i>gis</i> ³	3251
	52 — 55	<i>g</i> ³	12274		7	<i>a</i> ³	3444
1,5	21	<i>c</i> ³	8192		13	<i>c</i> ⁴	4096
	34	<i>e</i> ³	10321		14	<i>cis</i> ⁴	4339
1,8	24	<i>a</i> ⁵	13777		38	<i>a</i> ⁴	6889
	35	<i>e</i> ⁵	20642		46	<i>h</i> ⁴	7732
2,2	11 — 15	<i>a</i> ⁴	6889		57	<i>cis</i> ⁵	8679
	12 — 25	<i>c</i> ⁵	8192		65	<i>d</i> ³	9195
2,5	10	<i>fis</i> ⁴	5793	4,5	2,8—3,5	<i>cis</i> ³	2170
	10,5	<i>g</i> ⁴	6137		3,8—4,5	<i>dis</i> ³	2435
	11	<i>gis</i> ⁴	6502		4,5	<i>e</i> ³	2580
	12 — 13	<i>a</i> ⁴	6889		6	<i>g</i> ³	3068
	14	<i>b</i> ⁴	7298		7	<i>gis</i> ³	3251
	14,6	<i>h</i> ⁴	7732		8	<i>f</i> ³	2734
	15	<i>a</i> ⁴	6889		10	<i>a</i> ³	3444
	20	<i>a</i> ⁴	6889		15	<i>c</i> ⁴	4096
	22	<i>b</i> ⁴	7298		18	<i>cis</i> ⁴	4339
	28	<i>c</i> ⁵	8192	5,2	3,5—4	<i>cis</i> ³	2170
	38 — 39	<i>d</i> ⁵	9195		7	<i>f</i> ³	2734
	43	<i>dis</i> ⁵	9742		10	<i>fis</i> ³	2896
	50	<i>f</i> ⁵	10935		14	<i>a</i> ³	3444
2,9	6,8	<i>c</i> ⁴	4096		15	<i>b</i> ³	3649
	7	<i>cis</i> ⁴	4339		20	<i>c</i> ⁴	4096
	8	<i>dis</i> ⁴	4871	5,6	2,5	<i>cis</i> ³	2170
	9	<i>f</i> ⁴	5467		3	<i>d</i> ³	2299
	10	<i>fis</i> ⁴	5793		4	<i>fis</i> ³	2896
	11	<i>g</i> ⁴	6137		4,5	<i>dis</i> ³	2935
	12,2	<i>a</i> ⁴	6889		5	<i>cis</i> ³	2170
	15	<i>f</i> ⁵	10935		9 — 10	<i>e</i> ³	2580
	21	<i>a</i> ⁴ u. <i>a</i> ³	6889		15	<i>g</i> ³	3068
	35	<i>c</i> ⁵ u. <i>c</i> ⁴	8192	6,8	2,2	<i>b</i> ²	1824
	51	<i>e</i> ⁶	16384		2,5	<i>h</i> ²	1933
3,4	2,2	<i>cis</i> ³	2170		2,8	<i>cis</i> ³	2170
	5,2	<i>a</i> ³	3444		3 — 3,5	<i>d</i> ³	2209
	6	<i>h</i> ³	3866		4	<i>e</i> ³	2580
	7	<i>c</i> ⁴	4096		5	<i>fis</i> ³	2896
	7,5	<i>cis</i> ⁴	4339		6	<i>g</i> ³	3068
	10	<i>e</i> ⁴	5161		10	<i>dis</i> ⁴	4871
	11	<i>fis</i> ⁴	5793	7,9	12 — 15	<i>e</i> ⁴	5160
	25 — 27	<i>gis</i> ⁴	6502		1,5	<i>gis</i> ²	1625
	28	<i>a</i> ⁴	6889		1,8	<i>a</i> ²	1722
	35 — 36	<i>gis</i> ⁴	6502		2	<i>b</i> ²	1824
	55	<i>d</i> ⁴	4598		2,5	<i>h</i> ²	1933
4,0	2,5 — 2,7	<i>cis</i> ³	2170		3,1	<i>cis</i> ³	2170
	3	<i>d</i> ³	2299		4	<i>d</i> ³	2299
	3,5	<i>dis</i> ³	2435		4,5	<i>dis</i> ³	2435
	4	<i>e</i> ³	2580		5	<i>e</i> ³	2580

Ab- stand. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- teter Ton.	Schwin- gungs- zahl.	Ab- stand. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- teter Ton.	Schwin- gungs- zahl.
7,9	6	<i>gis</i> ³	3251	10,1	5	<i>d</i> ³	2299
	7	<i>a</i> ³	3444		6	<i>e</i> ³	2580
	8	<i>b</i> ³ u. <i>b</i> ²	3649		7	<i>f</i> ³	2734
	9	<i>h</i> ³ u. <i>h</i> ²	3866		11,3	1—4,5	schwache Töne
	10	<i>h</i> ³	3866		4,5	<i>e</i> ³	2580
	11	<i>c</i> ⁴	4096	12,4	5	<i>cis</i> ²	1085
	12	<i>cis</i> ⁴	4339		6	<i>gis</i> ²	1625
	13	<i>d</i> ⁴	4598		6,5	<i>d</i> ²	1149
	15	<i>dis</i> ⁴	4871		1—4,5	sch. Töne	
	1	<i>fis</i> ²	1448		4,5	<i>dis</i> ³	2435
9,0	2	<i>gis</i> ²	1625		5	<i>e</i> ³	2580
	2,5	<i>b</i> ³	1824	14,6	1—4	sch. Töne	
	3	<i>h</i> ³	1933		4	<i>d</i> ³	2299
	3,5—4	<i>cis</i> ³	2170		5	<i>e</i> ³	2580
	4,5	<i>e</i> ³	2580		15,8	1—5	sch. Töne
	5	<i>fis</i> ³	2896		5	<i>gis</i> ²	1625
	6	<i>g</i> ³	3068	16,9	1—5,5	sch. Töne	
	7	<i>gis</i> ³	3251		5,5	<i>g</i> ² sch.	1534
	8	<i>a</i> ³	3444		1—4	sch. Töne	
	15	<i>cis</i> ⁴	4339	18,0	4	<i>cis</i> ² sch.	1085
	10,1	1—4	schwache Töne.		1—4	sch. Töne	
	4	<i>cis</i> ³	2170	bis 27,0			

Aus der in der vorstehenden Tabelle enthaltenen Reihe von Versuchen ist zu ersehen, daß sowohl die Distanz der beweglichen Platte von der Ausflußöffnung als auch der Druck, unter welchem die Luft ausströmt, ziemlich bedeutend geändert werden kann, indem die beobachteten Töne entstanden sind bei einer Distanzänderung von 1 Millimeter bis 18 Millimetern und bei einer Verschiedenheit des Luftdruckes, welche der Höhe der Wassersäule in dem Manometer von 1 bis 70 Millimeter entspricht. Zu jedem einzelnen Abstände der Platte gehört innerhalb gewisser Gränzen ein angemessener Luftdruck, bei welchem die Töne entstehen, und zwar ist, wenn die Entfernung der oberen Platte klein ist, ein stärkerer Luftdruck zur Erzeugung der Töne erforderlich; muß dagegen der Luftstrom bis zu den Rändern der oberen Oeffnung einen längeren Weg zurücklegen, so entstehen die Töne nur bei geringerem Luftdrucke. Ist der Luftdruck zu schwach, so bleibt der Apparat lautlos; ist der Luftdruck aber zu stark, so hört man wohl ein

Rauschen, Schwirren oder Kreischen, aber es kommt nicht zur Bildung eines Tones von bestimmter Höhe. Ein solches Rauschen oder Schwirren entsteht aber auch nicht selten innerhalb der Gränzen des Luftdruckes, bei welchem musikalische Töne erzeugt werden, bevor der durch allmähliche Steigerung oder Verringerung sich ändernde Luftdruck zur Bildung des nächstfolgenden Tones geeignet geworden ist.

Rückt man die bewegliche Platte so nahe an die Ausflußöffnung, daß ihre Entfernung weniger als ein Millimeter beträgt, so entsteht kein Ton; entfernt man sie aber weiter als 18 Millimeter von derselben, so werden die Töne so schwach, daß man sie nicht mehr deutlich erkennen kann und nur bei hinreichender Stille noch hört, wenn man das Ohr dem Apparate nahe bringt. Bei den diesen beiden Gränzen zunächst stehenden Distanzen der beweglichen Platte entstehen auch nur wenige Töne, wogegen eine Menge von Tönen durch Anwendung von verschiedenem Luftdrucke erzeugt wird, wenn jene Distanz zwischen 2,5 und 9 Millimetern groß ist. Von diesen bei einer und derselben Distanz bei verschiedenem Luftdruck entstehenden Tönen sprechen einige immer besonders leicht und lange an; andere sprechen nur schwer an und können bei dem sich ändernden Luftdruck manchmal gar nicht hervortreten und leicht unbemerkt bleiben, weshalb wohl möglich ist, daß einzelne solcher Töne in der einen Beobachtungsreihe bemerkt worden, in der anderen dagegen ausgefallen sind. Vergleicht man die aufeinanderfolgenden mit successive vergrößerter Distanz der Platte angestellten Versuchsreihen mit einander, so bemerkt man, daß einige Töne sich immer wiederfinden, daß jedoch die dem größeren Luftdruck entsprechenden höheren Töne allmählich wegfallen und dafür tiefere bei geringerem Luftdrucke eintreten. Außerdem ist zu beachten, daß zur Erzeugung derselben Töne bei größerer Distanz der oberen Platte ein größerer Luftdruck erforderlich ist, woraus folgt, daß die Entfernung der Platte und die Geschwindigkeit des

Luftstromes einen entgegengesetzten Einfluß auf die Höhe des Tones ausüben.

7. Von großer Wichtigkeit schien es mir, die Abhängigkeit der Tonhöhe von dem Luftdruck und der Plattendistanz zu bestimmen; doch war es mir lange Zeit nicht möglich zu einem Resultate zu gelangen, da zwischen den aufeinanderfolgenden, durch allmälige Vergrößerung des Luftdruckes oder der Plattendistanz erzeugten, successiv höhern oder tiefern Tönen immer wieder Töne entstanden, welche außer der Reihe lagen und sich keinem Gesetze fügen wollten. Endlich überzeugte ich mich, daß die Schwingungszahl von zwei zusammengehörenden, ich möchte sagen, in dasselbe Register der Tonbildung gehörenden Tönen im geraden Verhältnisse zur Quadratwurzel aus der Wasserhöhe im Manometer und im umgekehrten Verhältnisse zu dem Abstände der vom Luftstromen gestofsenen Platte steht. Da die Geschwindigkeit des ausfließenden Luftstromes der Quadratwurzel aus dem vom Manometer angegebenen Drucke proportionirt ist, *so steht mithin die Schwingungszahl des erzeugten Tones im geraden Verhältnisse zur Geschwindigkeit des Luftstromes und im umgekehrten Verhältnisse zum Abstände der oberen Platte.*

Ein großer Theil der in der vorangehenden Tabelle enthaltenen Beobachtungen stimmt mit diesem Gesetze so gut überein, als sich mit Rücksicht auf die Beobachtungsfehler nur erwarten läßt. Ueber die Schwierigkeit, die hohen und sich rasch ändernden Töne genau zu bestimmen, habe ich mich schon oben ausgesprochen, und bemerke hier noch, daß auch die Angabe des den einzelnen Tönen entsprechenden Luftdruckes durch die Höhe der Wassersäule im Manometerrohre nicht immer genau seyn mag; denn zunächst ist das Manometer noch verhältnißmäßig zu wenig empfindlich und außerdem dauern manche Töne, wenn sie erst entstanden sind, auch bei einem nicht unbedeutend veränderten Luftdrucke fort, während andere nur bei einem bestimmten Luftdrucke erhalten werden können. Daher war auch der beobachtete Luftdruck bei Er-

zeugung derselben Töne nicht selten etwas verschieden, je nachdem durch allmälige Vermehrung oder Verminderung des Druckes die aufeinanderfolgenden Töne erzeugt wurden. Es war überdies nicht leicht, mittelst des auf den oberen Theil des doppelten Blasebalges ausgeübten Druckes einen bestimmten gleichmäßigen Luftdruck zu erzeugen und zugleich mit der Tonhöhe zu bestimmen. Wenn ich mich daher auch bemüht habe, durch sorgfältige Beobachtung gröfsere Fehler möglichst zu vermeiden, so möchte ich doch nicht behaupten, dafs es mir möglich gewesen ist, die theils in der Natur der Erscheinung liegenden, theils aus der Einrichtung der Apparate hervorgegangenen Schwierigkeiten gänzlich zu überwinden.

Ich habe aufer einer gröfseren Anzahl von Beobachtungsreihen, welche der oben mitgetheilten ganz ähnlich sind, auch noch andere Versuche angestellt, um das Gesetz über die Abhängigkeit des Tones von dem Luftdrucke und der Plattendistanz theils zu ermitteln, theils zu bestätigen. Um den Einflufs des Luftdruckes für sich zu bestimmen, liefs ich den Abstand der oberen Platte ungeändert und suchte durch rasche Veränderung des Luftdruckes nach einander zwei Töne zu erzeugen, welche mit einander ein bestimmtes Intervall, z. B. Terz, Quart, Quinte, Octave bilden, und beobachtete, während ich den erforderlichen Druck mit der Hand auf den oberen Blasebalg ausübte, das Manometer. Es stellte sich hierbei heraus, dafs in den meisten Fällen die Quadratwurzel aus dem Verhältnisse der beiden Wasserhöhen im Manometer dem Schwingungsverhältnisse des beobachteten Intervalls der Töne sehr nahe kam. Schwieriger war es, bei constant erhaltenem Luftdrucke durch Verschiebung der an dem Nonius befestigten beweglichen Platte rasch nacheinander zwei um ein bestimmtes Intervall von einander Töne zu erhalten; doch zeigte sich auch hier, dafs die Schwingungszahl des Tones dem Abstand der oberen Platte von der Ausflufsöffnung umgekehrt proportionirt ist, denn das Schwingungsverhältnifs des Intervalls von zwei Tönen

war meistens gleich dem Quotienten der beiden Plattendistanzen.

8. Um die Veränderung, welche die successive Vergrößerung der Plattendistanz unter übrigens gleichen Umständen in dem durch den Luftdruck erzeugten Tone verursacht, speciell anzugeben, theile ich noch zwei Versuchsreihen mit, welche ich mit demselben Apparate und derselben Ausflußöffnung und beweglichen Platte wie oben in der Weise angestellt habe, daß der Luftdruck immer möglichst constant erhalten wurde und das eine Mal einer Wassersäule von 5 Millimetern, das andere Mal von 12 Millimetern entsprach. In der ersten Columnne ist die successive, in der Regel um 0,1 Pariser Linie vermehrte Plattendistanz auf Millimeter reducirt, angegeben. In der zweiten Columnne habe ich, um Raum zu sparen, mit Weglassung der Schwingungszahlen, bloß die musikalischen Zeichen für die beobachteten Töne beigesetzt.

Tabelle III.

Luftdruck = 5 Mm. VVasserhöhe
Radius der Oeffnungen = 4 Millm.

Mm.	Ton.	Mm.	Ton.
3,4	g^3	8,3	$f^3 -$
3,6	g^3	8,6	$e^3 +$
3,8	g^3	8,8	e^3
4,1	f^3	9,0	$e^3 -$
4,3	f^3 u. cis^4	9,2	$e^3 -$
4,5	$c^4 -$	9,5	dis^3
4,7	h^3	9,7	dis^3
5,0	b^3	9,9	$d^3 +$
5,2	b^3	10,1	$d^3 -$
5,4	$a^3 +$	10,4	cis^3
5,6	a^3	10,6	cis^2
5,9	$a^3 -$	10,8	c^3
6,1	$gis^3 +$	11,0	c^3
6,3	gis^3	11,3	c^3
6,5	g^3	11,5	h^3
6,8	g^3	11,7	e^3
7,0	g^3	11,9	e^3 u. e^4
7,2	$fis^3 +$	12,2	e^3
7,4	fis^3	12,6	$e^3 -$
7,7	$fis^3 -$	13,1	dis^3
7,9	f^3	14,2	d^3
8,1	f^3	14,9	cis^3

Tabelle IV.

Luftdruck = 12 Mm. VVasserhöhe
Radius der Oeffnungen = 4 Millm.

Mm.	Ton.	Mm.	Ton.
2,3	b^4	7,4	d^4
2,5	gis^4	7,7	$d^4 -$
2,7	a^4	7,9	$cis^4 +$
2,9	g^4	8,1	$cis^4 -$
3,1	fis^4		
3,4	e^4 u. cis^4		
3,8	$c^4 +$		
4,1	c^4		
4,3	$c^4 -$		
4,5	h^3		
4,7	b^3		
5,0	a^3		
5,2	$gis^3 -$		
5,4	g^3		
5,6	$fis^3 +$		
5,9	f^3		
6,1	f^3		
6,3	$e^3 +$		
6,5	e^3 u. e^4		
6,8	e^4		
7,0	$dis^3 +$		
7,2	$dis^4 -$		

Aus diesen beiden Tabellen ist zunächst zu ersehen, wie der Ton allmählig tiefer wird, wenn der Abstand der Platte, gegen welche der Luftstrom stößt, zunimmt, wie aber bei gewissen Distanzen der Ton plötzlich einen Sprung macht, hierauf aber wieder in derselben Weise wie vorher tiefer wird; so geht z. B. in der Tabelle III. bei einer Plattendistanz von 4,3 Millimeter der Ton von f^{\sharp} in cis^4 , bei 11,5 bis 11,7 Millimeter von h^{\sharp} in e^3 über; desgleichen in Tabelle IV. bei der Distanz 3,4 Millimeter von e^4 in cis^4 . Vergleicht man ferner das Schwingungsverhältniß von zwei Tönen, zwischen welchen kein solcher Sprung vorkommt, mit dem Verhältniß ihrer Plattendistanzen, so sieht man, daß beide Zahlen in einigen Fällen übereinstimmen, oft einander ziemlich nahe kommen. Aus der Tabelle III. ergeben sich Verhältnisse der Plattendistanzen, welche meistens größer als die Schwingungsverhältnisse der Intervalle sind, dagegen stimmen die sich aus Tabelle IV. ergebenden Werthe viel besser überein. Um diese Vergleichung zu erleichtern, stelle ich in der folgenden Tabelle V. für die in den letzten beiden Beobachtungsreihen enthaltenen Intervalle die Vergleichung an. In der 1sten Columnne ist das Intervall der verglichenen Töne, in der 2ten das Schwingungsverhältniß desselben nach der gleichschwebenden Temperatur, in der 3ten die verglichenen Töne selbst, in der 4ten die denselben entsprechenden Plattendistanzen, und in der 5ten deren Quotient angegeben. Da die 0,1 Millimeter in den beobachteten Plattendistanzen nicht einmal ganz genau sind, so habe ich die Quotienten derselben bloß bis zur 2ten Decimalstelle ausgerechnet, und das Schwingungsverhältniß in der 2ten Columnne auch bloß bis auf 2 Decimalstellen genau angegeben. In der ersten Abtheilung der Tabelle Va. sind die in Tabelle III., in der 2ten Abtheilung Vb. die in Tabelle V. enthaltenen Beobachtungen verglichen.

Tabelle Va.

Intervalle der vergleichenen Töne.	Schwin- gungsver- hältniſſe.	Beobachtete Töne.	Abstand der Platten.	Verhältniſſe der Abstände.
Kleine Sekunde	1,06	$b^3 : h^3$	5,0 : 4,7	1,06
Groſſe Sekunde	1,12	$g^3 : gis^3$	6,8 : 6,3	1,08
		$f^3 : g^3$	4,1 : 3,6	1,14
		$a^3 : h^3$	5,6 : 4,7	1,19
		$g^3 : a^3$	6,8 : 5,6	1,21
		$cis^3 : dis^3$	14,9 : 13,1	1,14
Kleine Terz	1,19	$a^3 : c^4$	5,6 : 4,5	1,24
Groſſe Terz	1,26	$g^3 : b^3$	6,8 : 5,2	1,31
		$g^3 : h^3$	6,8 : 4,7	1,44
		$c^3 : e^3$	11,0 : 8,8	1,25
Reine Quart	1,33	$fis^3 : h^3$	7,4 : 4,7	1,57
		$f^3 : b^3$	7,9 : 5,2	1,52
		$c^3 : a^3$	8,8 : 5,6	1,57
Reine Quint.	1,50	$e^3 : h^3$	8,8 : 4,7	1,87
		$d^3 : a^3$	9,9 : 5,6	1,76
		$h^3 : fis^3$	11,5 : 7,4	1,55
Groſſe Sext	1,68	$es^3 : c^4$	9,7 : 4,5	2,16
Groſſe Septime	1,89	$d^3 : h^3$	9,9 : 4,7	2,11
		$des^3 : c^4$	10,4 : 4,5	2,31
		$c^3 : h^3$	11,0 : 4,7	2,34
		$h^3 : ais^3$	11,5 : 5,2	2,21
Octave	2,00	$c^3 : c^4$	11,0 : 4,5	2,44
		$h^3 : h^3$	11,5 : 4,7	2,44

Tabelle Vb.

Intervalle der Töne.	Schwin- gungsver- hältniſſe.	Beobachtete Töne.	Abstand der Platten.	Verhältniſſe der Abstände.
Kleine Sekunde	1,26	$fis^4 : g^4$	3,1 : 2,9	1,07
Groſſe Sekunde	1,12	$b^3 : c^4$	4,7 : 4,1	1,14
		$a^3 : h^3$	5,0 : 4,5	1,11
		$f^3 : g^3$	6,1 : 5,4	1,13
		$d^4 : e^4$	7,4 : 6,8	1,09
		$a^4 : c^4$	5,0 : 4,1	1,22
Kleine Terz	1,19	$g^3 : b^3$	5,4 : 4,7	1,15
Groſſe Terz	1,26	$g^3 : h^3$	5,4 : 4,5	1,20
		$f^3 : a^3$	6,1 : 5,0	1,22
		$g^3 : c^4$	5,4 : 4,1	1,32
Reine Quart	1,33	$f^3 : h^3$	6,1 : 4,5	1,33
Reine Quint	1,50	$f^3 : c^4$	6,1 : 4,1	1,50
		$e^3 : h^3$	6,5 : 4,5	1,44
Kleine Septime.	1,59	$e^3 : c^4$	6,5 : 4,1	1,59

9. Ausser dem Luftdruck, unter welchem der Luftstrom ausfliesst, und der Distanz der gestossenen Platte hat noch die Grösse und die Gestalt der Ausflufsöffnung Einfluss auf die Höhe des Tones. Dafs wenn die Ausflufsöffnung ebenso wie die Oeffnung in der beweglichen Platte, gegen deren Ränder der Luftstrom stösst, gröfser ist, tiefere Töne entstehen, ist unverkennbar; doch bin ich bisjetzt über die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Grösse und Gestalt jener Oeffnungen noch zu keinem bestimmten Resultate gelangt; es scheint mir aber nach den bisjetzt angestellten Versuchen, dafs der Einfluss der Grösse und Gestalt der Oeffnungen nur ein secundärer ist, da ich mit verschiedenen Oeffnungen unter übrigens gleichen Umständen auch dieselben Töne erhalten habe. Wenn die Ausflufsöffnung gröfser ist, so nimmt, wie später ausführlicher angegeben werden wird, die unterhalb der Oeffnung befindliche Luft leichter und entschiedener an den Schwingungen Theil, und dadurch entstehen tiefere Töne.

(Schluss im nächsten Heft.)

VII. Ueber zwei merkwürdige Pseudomorphosen von Kalkspath und Eisenglanz; von G. Rose.

1. Pseudomorphose von Kalkspath nach Aragonit.

Pseudomorphosen von Kalkspath nach Aragonit beschrieb zuerst Mitscherlich ¹⁾. Er beobachtete unter den von ihm vom Vesuv mitgebrachten Mineralien einen etwa 1 Zoll langen in einer Höhlung der Lava aufgewachsenen Aragonit-Krystall, der an der Oberfläche in Kalkspath umgeändert, im Innern aber noch unverändert war, denn kleine Stücke von dem Innern zerfielen noch bei der Erhitzung im Glaskolben, während dies bei der Erhitzung der Hülle nicht stattfand, in der man überdies deutliche Kalkspathrhomböeder erkennen konnte.

1) Poggendorff's Annalen 1831, Bd. 21, S. 157.

Diese von Mitscherlich beobachtete Erscheinung wurde später mehrfach und in viel größerem Maassstabe von Haidinger beobachtet. Er sah sie zuerst an stängligem Aragonit, der die Höhlungen ausfüllte, welche in dem Basalttuff von Schlackenwerth durch das Vermodern darin eingeschlossener Baumstämme entstanden waren ¹⁾, und darauf besonders an größeren in sechsseitigen Prismen krystallisirten Krystallen von Aragonit, die in Herrengrund bei Neusohl in Ungarn von einzelnen blauen Strontspathkrystallen bedeckt vorkommen ²⁾. Die ersteren sind excentrisch-stänglich und in den Höhlungen der größeren Baumstämme oft recht dick und gröfssänglich; jedes stängliche Individuum besteht aber aus körnigen Stücken von Kalkspath, und nur bei den größeren findet man im Innern einen durchsichtigen Kern von Aragonit. — Die Aragonitkrystalle von Herrengrund haben die Gestalt von grofsen bis 3 Zoll langen und breiten sechsseitigen Prismen, bei denen oft noch ein einspringender Winkel an den Längenkanten die Zwillingbildung verräth, die aber an der Oberfläche mit einer ziemlich gleichförmigen bis 2 Linien dicken Rinde von kleinen Kalkspathkrystallen von der Form des gewöhnlich vorkommenden Skalenoëders in Combination mit dem Hauptrhomboëder bedeckt sind, unter welchen gewöhnlich die Masse des Aragonits verschwunden und zu körnigem Kalkspath geworden ist. Die Begränzung der äufseren und inneren Masse ist auf der Bruchfläche zuweilen deutlich durch eine Linie getrennt, wie diefs auch bei anderen Pseudomorphosen beobachtet wird; bei manchen Stücken fehlt auch ein Theil des Innern gänzlich, die Krystaldecke ist hineingefallen, und es ist nur ein allgemeiner Umrifs der früheren Aragonitkrystalle übrig geblieben; zuweilen nimmt man jedoch auch den frischen Aragonit wahr, besonders wo die Krystalle kleiner und fest mit dem Nebengestein verwachsen sind.

1) A. a. O. 1837, Bd. 42, S. 353.

3) Abhandlungen der Kgl. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften. Prag 1841.

Eine der Herrengrunder ähnliche, doch in ihrer Art noch viel merkwürdigere Pseudomorphose beobachtete ich schon vor mehreren Jahren an einem großen Krystall des hiesigen königlichen mineralogischen Museums, der früher in der in dieses übergegangenen Sammlung des Dr. Tamnau enthalten war. Diese Pseudomorphose ist dadurch bemerkenswerth, daß der umgeänderte Aragonitkrystall auf der Oberfläche aus Kalkspathkrystallen besteht, die nicht allein in ihrer Form deutlich erkennbar sind, sondern auch eine untereinander und gegen den früheren Aragonitkrystall ganz bestimmte Lage haben.

Die Pseudomorphose stellte ursprünglich eine regelmäßige Verwachsung von 3 Aragonitkrystallen nach dem bei dem Aragonite gewöhnlich vorkommenden Gesetze dar. Die Formen der einfachen Krystalle des Drillings sind Combinationen des verticalen Prisma von $116^{\circ} 16'$ mit der geraden Endfläche; der Drilling bildet daher ein sechsseitiges Prisma mit 6 Seitenkanten von $116^{\circ} 16'$, an welchen sich an 2 gegenüberliegenden Seitenflächen der Länge nach 2 einspringende Winkel von $168^{\circ} 48'$ finden. Die Länge des Prisma beträgt an einem Krystalle, der besonders gut ausgebildet ist, 2,7 Preufs. Zoll, die Breite zwischen 2 gegenüberliegenden Seitenkanten 2,9 Zoll. Seiten- und Endflächen sind nun ganz rauh von aufsitzenden Kalkspathkrystallen in der Form des gewöhnlichen Skalenöders ($a : \frac{1}{2}a : \frac{1}{3}a : c$), die wiederum meistens Zwillingskrystalle nach dem Gesetze sind, daß die Zwillingsgränze eine Fläche ist, die senkrecht auf der Endkante von $104^{\circ} 38'$ steht. Diese Kante, die 2 bis 3 Linien lang ist, liegt in den drei Individuen des Aragonits parallel der längeren Diagonale ihrer Endfläche, und ist also wie die Endfläche des Aragonits horizontal, während auf den Seitenflächen der Pseudomorphose die Lage der Skalenöder der der Endfläche entsprechend, und eine stumpfe Endkante, die schief läuft, nach außen gekehrt ist¹⁾. Die Gränze zwi-

1) Die Lage der Zwillingskrystalle des Kalkspaths ist in der horizontalen Projection Fig. 16 Taf. II. angedeutet, wobei g die Flächen der verticalen

schen den 3 Krystallen läuft, wie dies bei Zwillingsskry-
stallen so häufig der Fall ist, ganz unregelmäßig, ist aber
durch die Lage der einzelnen Kalkspathskalenoëder ganz
bestimmt zu verfolgen.

Während die Aufsenseite der Pseudomorphose auf diese
Weise durch die bedeckenden Krystalle rauh ist, ist das
Innere versteckt blättrig, die Gränzen der Individuen sind
daher hier nicht mehr deutlich zu verfolgen; indessen sieht
man doch, daß die Spaltungsflächen der bedeckenden Kry-
stalle den Spaltungsflächen im Innern parallel geben, daher
der ganze Krystall Kalkspath ist. Eine Verschiedenheit
der Masse zeigt sich gar nicht; Risse durchsetzen aber
den ganzen Krystall, sie gehen auf der unteren Bruchfläche
von dem Mittelpunkte in ungefähr radialer Richtung aus,
und an einer Seite parallel den Kanten mit den Seiten-
flächen, da hier bei dem ursprünglichen Aragonitkrystalle
noch ein zweiter kleinerer Aragonit in nicht ganz paralleler
Richtung angewachsen ist. Andere Risse durchsetzen die
Seitenflächen, und gehen den Kanten mit den Endflächen
mehr oder weniger parallel. Diese Risse sind erklärlich,
da die ganze Masse des Aragonits bei ihrer Umänderung
in Kalkspath, wegen des geringeren specifischen Gewichtes
des Kalkspaths, sich ausdehnen mußte, es ist nur zu ver-
wundern, daß dabei sich noch die Form des Aragonits er-
halten hat, und derselbe nicht, wie bei seinem Erhitzen
über der Spirituslampe geschieht, in Pulver zerfallen ist;
daher gewiß auch diese Umänderung nur sehr langsam vor
sich gegangen ist.

Als Fundort dieser merkwürdigen Pseudomorphose fand
sich auf dem dabei liegenden Zettel Thorda in Siebenbü-
rgen ohne weitere Bemerkungen. Da ich über diesen Fund-
ort nichts Näheres erfahren konnte, und auch mein Freund

Prismen, c die Endfläche der 3 Aragonitkrystalle und x die schärferen
Endkanten eines Skalenöder-Zwillinge sind. Fig. 17 Taf. II stellt einen
solchen Zwillingsskry-
stall in horizontaler Projection auf die Endfläche des
Aragonits dar, wobei x die schärferen, y die stumpferen Endkanten und
 z die Seitenkanten sind.

Haidinger, an den ich mich deshalb wandte, mir versicherte, daß sich in den Wiener Sammlungen kein Kalkspath oder Aragonit von Thorda fände, so zweifelte ich an der Richtigkeit der Angabe, und diese Zweifel wurden noch vermehrt, als später das königl. mineralogische Museum in Berlin von dem Mineralienhändler Augustin eine große Druse mit ganz ähnlichen und zum Theil noch größeren Pseudomorphosen erhielt, die angeblich aus der Schweiz stammen sollte. Die Pseudomorphose besteht ebenfalls aus einer Zusammenhäufung von lauter kleinen Kalkspathkristallen, die jedoch kleiner, auch nur stellenweise regelmäßig gruppiert, und auf der Endfläche auch stellenweise eingesunken sind, so daß das Gesetz der Gruppierung hieraus nicht würde haben entwickelt werden können.

Die ungefähre Richtigkeit der ersteren Angabe ergab sich aber, als ich die Mineraliensammlung des Hrn. Apotheker Herz hieselbst vor ihrem Abgange nach der Universität Marburg genau durchzugehen veranlaßt wurde. Hier sah ich ebenfalls eine solche Pseudomorphose, wie die beschriebene, die zwar kleiner, aber doch sehr regelmäßig war, und bei dem außerdem ein Zettel lag, auf welchem als Fundort die Emericus-Grube in Siebenbürgen mit der Bemerkung lag: vergl. Fichtel's Reise in den Karpathen ¹⁾ S. 108. Hier heißt es aber: »Merkwürdig sind noch die großen vollkommen sechseitigen Kalksäulen, so in dieser Emericus-Grube (zu Offenbanya) vor einigen Jahren eingebrochen sind. Auf ihrer Oberfläche sieht man deutlich, daß sie aus kleinen Rhomben, die in einer gewissen Richtung glänzen, zusammengesetzt sind; zerschlägt man aber die Säule, so zeigt sich derber Kalkstein, der kaum etwas spathartiges an sich hat. Es giebt dergleichen Säulen, die einen Schuh in der Höhe, und einen halben im Durchmesser messen; sie fallen aber auch bis auf 2 Zoll in der Höhe und bis auf $\frac{3}{4}$ Zoll in der Dicke herab. Gewöhnlich sind an die großen Säulen kleine angewachsen; oft ist aber auch eine ganze Gruppe von gleich großen drusenartig

1) Wien, 1791.

beisammen, die sich bisweilen in einer schiefen Richtung durchkreuzen.«

Diese Beschreibung paßt vollkommen zu der eben von mir gegebenen Beschreibung, und da Thorda ganz in der Nähe von Offenbanya und der Emericus-Grube liegt, so ist es wohl keinem Zweifel unterworfen, daß die beschriebene Pseudomorphose von dieser Grube abstammt, und dasselbe ist auch bei der Aehnlichkeit der von dem Mineralienhändler Augustin gekauften Pseudomorphose von dieser anzunehmen.

2. Pseudomorphose von Eisenglanz nach Kalkspath.

Pseudomorphosen von Eisenglanz nach Kalkspath kommen häufig vor, und sind in Blum's Pseudomorphosen S. 278, so wie auch in dem zweiten Nachtrage S. 114 beschrieben; sie kommen sogar auch zu Thoste unfern Semur im Depart. *Côte d'or* in der Form von Muscheln (*Unio liasinus*?) in einer eisenschüssigen oolithischen Schicht des *Lias* vor ¹⁾. Dennoch sind keine solche Pseudomorphosen bekannt, in welchen der gebildete Eisenglanz nicht allein deutlich individualisirt ist, sondern auch die entstandenen Krystalle regelmässig gruppirt sind. Dergleichen finden sich aber zu Altenberg in Sachsen, wie aus einer Pseudomorphose hervorgeht, die aus der Sammlung des verstorbenen Medicinalraths Bergemann in das hiesige Königl. mineralogische Museum gekommen ist.

Dieselbe erscheint in der Form eines Zwillingskrystalls des Kalkspaths, dessen Individuen Hauptrhomboëder sind, die so durcheinandergewachsen vorkommen, daß die Hauptaxen beider gemeinschaftlich sind, die Endkanten des einen aber aus den Flächen des anderen herauspringen. Diese Rhomboëder bestehen nun aus lauter 1 bis 2 Linien grossen Eisenglanzzrhomboëdern, die in jedem Kalkspathrhomboëder eine untereinander parallele und zwar solche Stellung haben, daß die durch ihre Axe und Endkante gelegte Ebene der entsprechenden Ebene des Kalkspathrhomboëders in welchem sie liegen parallel ist. Da nun das Rhom-

1) Blume, Nachtrag zu den Pseudomorphosen, S. 202.

boöder des Eisenglanzes viel spitzer, als das des Kalkspaths ist (die Neigung der Flächen zur Axe beträgt beim Eisenglanz $32^{\circ} 30'$, beim Kalkspath $45^{\circ} 23'$), so rücken die kleinen Eisenglanzrhomboöder auf der Endkante des Kalkspaths von der Endspitze nach der Seitenecke immer etwas heraus; aber dieß geschieht so regelmäfsig, dafs durch die Spitzen der Eisenglanzrhomboöder die früheren Endkanten der Kalkspathrhomboöder¹⁾ hinreichend deutlich bezeichnet werden, um sich durch die Messung mit dem Anlegoniometer zu überzeugen, dafs zwei solche in der Axe gegenüberliegende Endkanten, die also ursprünglich den verschiedenen Individuen des Kalkspathzwillings angehören, wie beim Kalkspath unter dem Winkel von $127\frac{1}{2}$ gegeneinander geneigt sind. Im Innern sieht man von übriggebliebenen Kalkspath nichts, es ist eine dichte Eisenglanzmasse, man kann also auf den früheren Zustand der Pseudomorphose nur aus den Winkeln und der eigenthümlichen Gruppierung der kleinen Eisenglanzkrystalle schliessen, die in dieser Art nur bei Pseudomorphosen vorkommt. Die Breite der Pseudomorphose zwischen den Seitenecken beträgt $1\frac{1}{4}$ Zoll.

Kayser erwähnt auch dieses Krystalls in seiner Beschreibung der Bergemann'schen Mineraliensammlung²⁾ S. 281. Er sagt hier No. 123: »Ein grofser Eisenglanzwilling von Altenberg. Die Individuen in der beim Flusspath häufigen Durchwachsung nach der rhomboëdrischen Axe, sind in Form des Hauptrhomboëders, dessen Flächen von geschupptem Ansehen durch hervorspringende kleinere Krystalle derselben Form, wodurch die Form der Individuen viel flacher erscheint, als das Rhomboöder von 86° . Dafs es aber dieses wirklich ist, geht aus dem Auftreten des gewöhnlichen Dihexaëders an seinen Lateralecken hervor, dessen Combinationskante mit diesem Rhomboöder parallel ist der schiefen Diagonale des letzteren.« Die Flächen

1) Vergl. Fig. 18, Taf. II. die einen Hauptschnitt des als einfach gedachten Kalkspathrhomboëders vorstellt.

2) Berlin 1834, in Commission der Nauk'schen Buchhandlung.

dieses Dihexaëders kommen allerdings bei den kleinen Eisenglanzkrystallen oft noch ganz deutlich vor, sie beweisen aber nur, daß die kleinen Krystalle Eisenglanz sind, nicht aber, daß die ganze Gruppe, die Form des Eisenglanzes hat.

VIII. *Resultate von Messungen an Rutil- und Bleivitriolkrystallen; von Nicolai v. Kokscharow.*

(Vom Hrn. Verf. mitgetheilter Auszug aus dessen »Materialien zur Mineralogie von Rußland«).

I. Rutil.

Durch die Güte seiner Exc. des Staatsraths Dr. v. Rauch wurde mir ein ausgezeichnet schöner Rutilkrystall zu Theil, welcher, nach der Naumann'schen Methode bezeichnet, die Combination: $P. \infty P. \infty P \infty$ darstellt. Durch die vollkommene Ausbildung des Krystalls, und weil alle vier Flächen der tetragonalen Hauptpyramide glatt und spiegelnd waren, wurde es mir möglich die Winkel dieser Form mit der größten Genauigkeit zu messen. — Folgende sind die von mir erhaltenen Resultate ¹⁾:

durch Messung:	durch Rechnung: wenn man annimmt $a:b:b=0,64418:1:1.$
$0_1:0_2=123^\circ 7' 40''$	
$123^\circ 7' 20''$	
$123^\circ 8' 0''$	
$123^\circ 7' 30''$	
$123^\circ 7' 25''$	
$123^\circ 7' 40''$	
im Mittel $=123^\circ 7' 36''$	
$0_2:0_3=123^\circ 7' 40''$	} 123° 7' 30"
$0_3:0_4=123^\circ 7' 40''$	
$0_4:0_1=123^\circ 7' 35''$	

1) Hier wird eine jede Fläche der Haupttetragonal-Pyramide o durch eine besondere Zahl bezeichnet werden, d. h. o_1, o_2, o_3 und o_4 .

$$\left. \begin{array}{l} 0_1 : 0_3 = 95^\circ 20' 30'' \\ 0_2 : 0_4 = 95^\circ 20' 10'' \end{array} \right\} \dots 95^\circ 19' 58''$$

Diese Messungen sind vermittelt des Mitscherlich'schen Reflexionsgoniometers mit *zwei* Fernröhren angestellt worden. Zwei sich kreuzende Fäden der einen dieser Röhren dienten als Gegenstand, welcher von den Krystallflächen reflectirt wurde. Aus diesen Messungen ist es ersichtlich, daß ich somit keine, von einigen Mineralogen beim Rutil angenommene Abweichung von den Erfordernissen des tetragonalen Krystallsystems gefunden habe.

Die nachfolgenden Messungen sind an Rutilkrystallen des Berginstituts-Museums aus der Nicolajew'schen Goldseife in der Umgegend von Poljakowski am Ural (Fig. 21 u. 22 Taf. II.) angestellt worden, wobei der Mitscherlich'sche Goniometer nur mit *einem* Fernrohre versehen war, daher sie nicht denselben Grad der Genauigkeit der vorhergehenden Messungen erreichen, obgleich sie auch als sehr gut zu betrachten sind. — Auf diese Art erhielt ich:

Durch Messung:	durch Rechnung:
$o : o = 123^\circ 8' 0''$	$123^\circ 7' 30''$
$z : t = 138^\circ 17' 0''$	
$138^\circ 16' 50''$	$138^\circ 16' 17''$
im Mittel $= 138^\circ 16' 55''$	
$z' : t' = 138^\circ 15' 0''$	
$138^\circ 16' 30''$	
im Mittel $= 138^\circ 15' 45''$	

Folglich beträgt der mittlere Werth für den Winkel aus beiden Messungen $138^\circ 16' 20''$.

$z : o = 154^\circ 0' 0''$	$154^\circ 0' 36''$
$z'' : t' = 93^\circ 14' 0''$	
$93^\circ 15' 30''$	$93^\circ 14' 27''$
im Mittel $= 93^\circ 15' 30''$	
$z'' : z' = 51^\circ 29' 30''$	
in der Polkanten-Zone $t = P \infty$	
$51^\circ 30' 0''$	$51^\circ 30' 44''$
im Mittel $= 51^\circ 29' 45''$	

durch Messung:	durch Rechnung:
$\left\{ \begin{array}{l} t:t = 134^{\circ} 58' 0'' \\ \text{in den Polkanten } 134^{\circ} 57' 30'' \\ \text{im Mittel} = 134^{\circ} 57' 45'' \end{array} \right\}$	$134^{\circ} 58' 10''$
$\left\{ \begin{array}{l} t:t = 114^{\circ} 25' 0'' \\ \text{an der Spitze } 114^{\circ} 25' 40'' \\ 114^{\circ} 26' 20'' \\ 114^{\circ} 25' 30'' \\ \text{im Mittel} = 114^{\circ} 25' 37'' \end{array} \right\}$	$114^{\circ} 25' 21''$

Ich habe daher Winkelgrößen erhalten, welche mit der Berechnung, wobei sowohl die von mir als auch von Miller erhaltenen Messungen zum Grunde gelegt waren, sehr gut übereinstimmen.

II. Bleivitriol.

Die großen Unterschiede in den durch Messung der Winkel des Bleivitriols von verschiedenen Mineralogen erhaltenen Resultaten, beweisen hinlänglich, daß die Winkel dieses Minerals gegenwärtig noch nicht mit gehöriger Schärfe bestimmt sind und noch fernere Untersuchungen erfordern. So giebt W. Kupffer für das horizontale Querprisma *M* den Winkel $76^{\circ} 22'$, Mohs $76^{\circ} 49'$, Haüy $76^{\circ} 12'$, Haidinger $76^{\circ} 11'$ und endlich Philipps $76^{\circ} 18'$. Ich meinerseits habe mehrere Messungen an Krystallen des Bleivitriols aus England, vom Ural und aus Italien angestellt und mich bemüht, die durch unmittelbare Messung erhaltenen Winkelgrößen mit den, von Kupffer, Mohs, Haüy, Haidinger und Philipps gegebenen Data berechneten zu vergleichen. Indessen habe ich gefunden, daß die berechneten Winkel nach den Messungen, die ich kürzlich an einem sehr schönen Krystall vom Monte-Poni, Prov. d'Iglesias der Insel Sardinien, aus der Mineralsammlung des Doctors v. Rauch anzustellen Gelegenheit hatte, mit den durch unmittelbare Messung erhaltenen Winkeln beinahe zusammenfallen. — Folgende sind die von mir erhaltenen Resultate:

Für die Neigung der Flächen des horizontalen Querprisma $M = \bar{P} \infty$ in den Mittelkanten (an Krystallen von Monte-Poni):

$$\begin{aligned} M : M &= 103^{\circ} 43' 30'' \\ &= 103^{\circ} 43' 30'' \\ &= 103^{\circ} 43' 39'' \end{aligned}$$

im Mittel $= 103^{\circ} 43' 30''$ (Complement $= 76^{\circ} 16' 30''$).

Diese Messung ist mit Hülfe des Goniometers von Mitscherlich mit zwei Fernröhren ausgeführt worden. Zwei gekreuzte Fäden von einem dieser Fernröhre, welche von Krystallflächen reflectirt wurden, dienten als Gegenstand. — Da die Flächen des zu messenden Krystalls vollkommen glatt und glänzend waren, die reflectirenden Fäden vollkommen deutlich erschienen und das Instrument selbst mit aller Vorsicht eingestellt war, so glaube ich, daß diese Messung als eine sehr befriedigende angesehen werden kann. — Jede oben angeführte Zahl ist bei besonderer Einstellung des Krystalls am Goniometer erhalten worden.

Für die Neigung der Flächen des horizontalen Längsprisma $t = \bar{P} \infty$ in den Mittelkanten (desselben Krystalls):

Durch Messung.	Durch Rechnung.
$t : t = 75^{\circ} 35' 30''$	(wenn man annimmt
$75^{\circ} 35' 30''$	$a : b : c = 0,77556 : 1 : 0,60894,$
$75^{\circ} 35' 30''$	wo a = Vertical-Axe, b = Makrodiagonale und c = Brachydiagonale.)
im Mittel $= 75^{\circ} 35' 30''$	. . . . . $75^{\circ} 35' 30''$

ferner:

$M : t = 119^{\circ} 13' 0''$	} $119^{\circ} 12' 30''$
$119^{\circ} 13' 0''$	
im Mittel $= 119^{\circ} 13' 0''$	
$a : M = 142^{\circ} 8' 0''$ $142^{\circ} 8' 6''$.	

Diese Messungen wurden ganz wie die vorhergehenden ausgeführt, d. h. mit Hülfe des, mit zwei Fernröhren ausgerüsteten Instruments. — Mir scheint es, daß man diese als ebenfalls genügend betrachten kann, obgleich man der Ersteren den Vorzug geben muß.

Meine übrigen Messungen wurden mit demselben Instrument und an demselben Krystall ausgeführt, aber nur mit *einem* Fernrohre, weil die Flächen der zu messenden Krystalle nicht genug glänzend waren, um ein reflectirendes Bild von zwei gekreuzten Fäden zu erhalten, daher diese letzteren Messungen nicht so genau als die vorhergehenden sind. Indessen nähern sich die von mir erhaltenen Resultate bedeutend den berechneten Winkeln von $M:M = 103^\circ 43' 30''$ und $t:t = 75^\circ 35' 30''$.

Auf diese Weise erhielt ich:

durch Messung:	durch Rechnung:
$d:P = 140^\circ 37'$	$140^\circ 36' 39''$
$d:d = 101^\circ 14'$	$101^\circ 13' 18''$
$s:d = 141^\circ 39'$	$141^\circ 37' 38''$
$s:s = 128^\circ 48'$	$128^\circ 48' 56''$
$s:s = 89^\circ 38'$	$89^\circ 38' 0''$
$s:t = 134^\circ 49'$	$134^\circ 49' 0''$
$a:d = 135^\circ 5'$	$135^\circ 6' 0''$
$a:t = 153^\circ 17'$	$153^\circ 17' 17''$
$a:s = 161^\circ 31\frac{1}{4}'$	$161^\circ 31' 43''$

Zur besseren Erläuterung füge ich die (Fig. 19 und 20 Taf. II eines Krystalls des Bleivitriols bei, welchen man kürzlich im Ural gefunden hat und welchen ich näher in meinem Werke beschrieben habe. Dieser Krystall enthält folgende Formen:

$$\begin{array}{ll}
 s = P & x = m\bar{P}\infty \\
 a = \bar{P}2 & t = \bar{P}\infty \\
 r = 2\bar{P}2 & k = 0P \\
 d = \infty\bar{P}2 & i = \infty\bar{P}\infty \\
 M = \bar{P}\infty & P = \infty\bar{P}\infty \\
 c = \frac{1}{2}\bar{P}\infty
 \end{array}$$

IX. Ueber die Aenderung der Brechbarkeit des Lichts; vom Prof. Stokes.

(*Proceedings of the Roy. Society — Phil. Mag.* 1853 Oct.)

Der Hauptzweck dieses Aufsatzes ist eine Beobachtungsweise zu erläutern, durch welche sich die von opaken

und transparenten Substanzen, selbst gar nicht sehr empfindlichen, hervorgebrachte Brechbarkeitsveränderung mit gewöhnlichem Tageslichte darthun läßt. Die Methode erfordert kaum einen Apparat, ist äusserst leicht auszuführen und hat den grossen Vorzug, den Beobachter unabhängig vom Sonnenlicht zu machen. Deshalb glaubt auch der Verf., daß sie von Chemikern zur Unterscheidung verschiedener Substanzen angewandt werden könne. Die Methode ist folgende.

Im Fensterladen eines dunklen Zimmers ist, zur Einführung des Lichts, ein Loch von mehren Zoll im Durchmesser ausgeschnitten und dicht darunter ein kleines, oben geschwärztes Brett am Fensterladen befestigt, welches als Träger der zu untersuchenden Gegenstände und der absorbirenden Media dient. Das Loch wird bedeckt mit einem absorbirenden Medium, welches der Verf. das *Haupt-Absorbens* nennt und so gewählt ist, daß es die schwach leuchtenden Strahlen von hoher Brechbarkeit, so wie die unsichtbaren noch stärker brechbaren Strahlen möglichst durchläßt, dagegen die Strahlen vom grösseren Theil des sichtbaren Spectrums auffängt. Ein zweites Medium, vom Verf. das *complementare Absorbens* genannt, ist so gewählt, daß es für die Strahlen, welche das erste Medium auffängt, möglichst durchgänglich, und für die Strahlen, welche jenes durchläßt, möglichst opak sey. Der zu untersuchende Gegenstand wird auf das Brett gestellt und durch das zweite Mittel betrachtet. Sind die Media gut gewählt, so erzeugen sie zusammen eine sehr starke Annäherung zur vollkommenen Dunkelheit; und wenn der Gegenstand ungewöhnlich (*unduly*) leuchtend erscheint, so rührt dieß, aller Wahrscheinlichkeit nach, von »Fluorescenz« her. Um zu ermitteln, ob das Leuchten (*illumination*) wirklich von dieser Ursache herkomme, ist es gemeiniglich hinreichend, das complementare Absorbens vor dem Auge fortzunehmen und vor das Loch zu halten, wo dann das Leuchten, wenn es wirklich von Fluorescenz herrührt, fast ganz verschwindet; dagegen, wenn es herrührt von zerstreutem (*scattered*) Licht, welches durch beide Media zu gehen vermag, nothwendig bleibt wie es zuvor war. Bei Gegenständen, die nur schwach fluorescirend sind, ist es zuweilen besser, das zweite Medium an seinem Ort zu lassen und ein drittes zu gebrauchen, welches vom Verf. *Uebertragungsmedium* genannt, und abwechselnd in die Bahn der auf das Object einfallenden

und der von diesem ins Auge gelangenden Strahlen gestellt wird.

Außer dem Leuchten liefert die der Brechbarkeitsveränderung entsprechende Farbenänderung und die Verschiedenheit der Farben, mit welcher der Gegenstand erscheint, je nachdem das Uebertragungsmedium oder das als Uebertragungsmedium gebrauchte complementäre Absorbens vor den Augen oder vor dem Loche gehalten wird, in den meisten Fällen ein leichtes Mittel, die Fluorescenz zu entdecken.

Statt sich auf das absolute Ansehen der Substanz zu verlassen, ist es insgemein besser, sie mit einer als normal angenommenen zu vergleichen. Diese Normalsubstanz muß von der Art seyn, daß sie sichtbare Strahlen von allen Brechbarkeiten leicht zerstreut, dagegen keine Strahlen von einer Brechbarkeit aussendet, wenn sie durch Strahlen von einer anderen influencirt wird. Als solche Normalsubstanz wendet der Verf. eine weiße Porcellantafel an, und legt auf diese, statt unmittelbar auf das geschwärzte Brett, den zu untersuchenden Gegenstand.

Eine andere Beobachtungsweise besteht darin, ein Prisma verbunden mit dem Haupt-Absorbens anzuwenden. Man legt den Gegenstand auf die Tafel, hält dicht an ihm einen Schlitz in solcher Lage, daß er theils auf den Gegenstand, theils auf die Tafel projicirt gesehen wird, und betrachtet den Schlitz durch ein Prisma. Die Fluorescenz erweist sich dadurch, daß in Gegenden des Spectrums, in welchen, falls Strahlen das Haupt-Absorbens durchdringen, und daher, falls Strahlen von der Tafel zerstreut werden, nichts als Dunkelheit ist, Licht zum Vorschein kommt.

Diese Methoden sind so empfindlich, daß der Verf. selbst an einem ungewöhnlich trüben Tag im Stande war, dadurch die Fluorescenz des weißen Papiers aufzufinden; ja an Substanzen von viel geringerer Fluorescenz läßt sich dieselbe auf gleiche Weise entdecken.

Schließlich bemerkt der Verf. noch, daß er die Fluorescenz auch bei den Platincyaniden aufgefunden hat, welche Salzklasse demnach den dritten Fall darstellt, wo diese Eigenschaft bei einer chemisch isolirten Substanz auftritt. Der vorliegende Fall eröffnet ein neues Feld, das fluorescirende Licht auf Polarisation zu untersuchen.

I. Ueber die in der galvanischen Kette an der Gränze zweier Leiter entwickelte Wärme oder Kälte¹⁾; von M. L. Frankenheim.

In der geschlossenen Kette findet, von der chemischen Wirkung in der Flüssigkeit abgesehen, bekanntlich ein zweifacher Wärme-Process statt. Der erste besteht in der Erwärmung der ganzen Kette; der Ursprung des zweiten ist auf die Gränze zweier Leiter beschränkt.

Jener wird in jedem Theile der Kette beobachtet und ist unabhängig von der Richtung des Stromes. Seine Intensität ist daher eine solche Function von der Intensität des Stromes J , die keine Veränderung erleidet, wenn man $-J$ für $+J$ setzt. In der That haben Joule und später Andere gefunden, daß die Intensität dieser Wärme, welche man die *primäre* nennen könnte, dem Quadrat der Strom-Intensität proportional ist.

Mit dieser primären Wärme ist das Produkt des *secundären*, von der Gränze der Leiter ausgehenden Wärme-Processes stets gemischt. Die Temperatur der den Gränzen benachbarten Theile ist stets die Summe oder die Differenz beider. Aber diese steht in keinem einfachen Verhältnisse zur Strom-Intensität, und man nimmt daher in der Nähe der Gränzen, bei scheinbar nahe übereinstim-

1) Bei dieser Arbeit bin ich durch die zahlreichen und sorgfältigen Beobachtungen, die Hr. Szafarkiewicz in meinem Laboratorium angestellt hat, sehr unterstützt worden. Einige derselben hat er in seiner Anfangs Juni 1853 erschienenen Inaugural-Abhandlung bekannt gemacht. Sie sind Hrn. v. Quintus-Idilius, dessen Arbeit nur wenig jünger ist, unstreitig unbekannt geblieben.

menden Bedingungen bald Wärme, bald Kälte wahr, und zuweilen scheint die Temperatur dieser Stellen gar keine merkliche Veränderung zu erfahren.

Obgleich dieser secundäre Wärme-Proceß schon vor etwa 20 Jahren von Peltier entdeckt ist, so ist dennoch bis jetzt noch nicht versucht worden die Intensitäten des Stromes und des secundären Wärme-Processes durch eine genaue Formel zu verbinden.

Jedenfalls ist die secundäre Wärme dem Quadrate der Strom-Intensität nicht proportional, wie es die primäre ist, weil sie sonst wie diese von der Richtung des Stromes unabhängig wäre, sondern eine solche Function derselben, daß die beiden den entgegengesetzten Richtungen $\mp J$ des Stromes entsprechenden Werthe ebenfalls einander gleich und entgegengesetzt sind, nämlich $\mp a$. Ist nun b die primäre Wärme, so würde die an den Gränzstellen stattfindende Wärme-Entwicklung, je nach der Richtung des galvanischen Stromes

$$b + a \text{ und } b - a$$

seyn.

Sind α und β die bei zwei einander gleichen und entgegengesetzten Strömen beobachteten Temperaturen, so ist

$$a = \frac{\alpha - \beta}{2}; \quad b = \frac{\alpha + \beta}{2},$$

wenn man annimmt, daß die beobachteten Temperaturdifferenzen den die Wärme erzeugenden Kräften proportional sind, was bei allen folgenden Beobachtungen, bei denen die Temperatur nur innerhalb weniger Grade schwankte, erlaubt ist.

Die Beobachtungsweise.

Um die Temperatur der Gränzgegend kennen zu lernen, bediente ich mich entweder eines Luft-Thermometers oder eines Galvanometers. Jenes war dem von Riefs und anderen Physikern bei ihren elektrischen Versuchen mit so großem Erfolge angewandten Instrumente ähnlich; nur enthielt es statt der Platin-Spirale ein thermo-elektrisches Element, das isolirt in eine Fassung der Glas-

kugel eingesetzt war. Die Flüssigkeit sank gewöhnlich, wenn die galvanische Kette durch jenes Element geschlossen wurde, um eine gewisse Gröfse herab. Wurde nun die Richtung des Stromes umgelegt, so konnte der primäre Wärme-Procefs keine Veränderung in der Höhe der Flüssigkeit hervorbringen, aber diese trat durch den Einflufs des secundären Wärme-Processes in sehr merklicher Weise ein. — Es ist mir jedoch bei der Oertlichkeit, über die ich verfügen konnte, nicht möglich gewesen quantitativ genaue Resultate zu erlangen.

Bei allen im Folgenden angeführten Versuchen wurde daher ein dem von Peltier angegebenen ähnliches Kreuz angewendet. Dieses besteht bekanntlich aus zwei kreuzweise gelegten, in der Mitte zusammengelötheten Stäben von Wismuth und Antimon oder zwei anderen in der thermo-elektrischen Reihe entfernten Metallen. Zwei benachbarte Enden dieses Kreuzes wurden mit dem galvanischen Apparate, die zwei andern mit einem Galvanometer verbunden, so dafs die durch den Galvanismus in der Löthungsstelle erregte Wärme oder Kälte einen thermo-elektrischen Strom hervorbrachte, der die Galvanometer-Nadel ablenkte.

Man mifst also bei diesem Verfahren die Temperatur der Kreuzungsstelle während der Dauer des Hauptstromes, und kann mit der Ablesung warten, bis der Apparat zu einem constanten Zustande gelangt ist, das Kreuz eine feste Temperatur angenommen und die Nadel sich beruhigt hat. Wenn man die thermo-elektrische Kette erst mit dem galvanischen Elemente verbindet und dann nach einer gewissen Zeit davon trennt und mit dem Galvanometer in Verbindung setzt, wobei die Temperatur Differenz sowohl während der Unterbrechung des Stromes als nach der Verbindung mit dem Galvanometer beständig abnimmt, so ist man Fehlern unterworfen, welche keine Sorgfalt in der Ablesung und Berechnung des Galvanometers beseitigen kann.

Der Apparat Fig. 1, Taf. III. bestand also aus zwei Thei-

len, der Hauptkette und der Nebenkette, die in dem Mittelstücke des Kreuzes *K* zusammentrafen.

Die Elektroden des galvanischen Elementes *PZ* gingen in die beiden Mittel-Näpfchen oder vielmehr -Klemmen des Mutators *M*, die eine *P* unmittelbar, die andere *Z*, nachdem eine kleine Tangentenbussole *B* und ein Rheostat *R* eingeschaltet waren. Mit den Endnäpfchen des Mutators wurden zwei Enden des Kreuzes verbunden.

Zur Erzeugung des Galvanismus wurden verschiedene Ketten benutzt, in der Regel eine kleine Grove'sche Kette, welche der Nadel der Tangentenbussole *B* eine Ablenkung von 70° geben konnte, wenn kein Rheostat eingeschaltet war. Wenn der Thoncylinder vor Kurzem gebraucht und noch mit Wasser durchzogen war, so reichte es hin, ihn auf einen Augenblick mit starker Schwefelsäure zu füllen, um ihm sogleich seine volle Wirksamkeit wieder zu geben.

Die *Tangenten-Bussole B* hat 210 Millimeter Durchmesser und einen Kupferring von 5,2 Millim. Dicke. Die Nadel, die eine Länge von 54 Millm. hatte, war etwas zu groß für den Durchmesser des Ringes, so daß die galvanische Kraft der Tangente des Ablenkungswinkels nicht genau proportional gesetzt werden durfte. Die nothwendige Correction wurde auf zweifache Weise gefunden. Entweder brachte man die kleine Tangenten-Bussole mit einer anderen von 505 Millm. Durchmesser und einer etwa 100 Millm. langen Nadel zugleich in einen Strom, den man durch Einschaltungen beliebig schwächen konnte und erlangte dadurch eine Reihe correspondirender Ablenkungen, aus denen die Corrections-Tabelle berechnet wurde; oder man wandte das, wie ich glaube, zuerst von Pogendorff empfohlene Verfahren an. Es wurde die kleine Tangenten-Bussole mit einer beliebigen anderen Bussole und einem Rheostaten in eine Kette gebracht und ein Strom hindurchgeleitet, welcher in der Bussole eine constante Ablenkung hervorbrachte. Der Ring der Tangenten-Bussole wurde aber nach und nach in verschiedene Azimuthe gestellt und die Ablenkungen beobachtet. Aus den beiden

Ablenkungen der Nadel vom Ring und des Ringes vom Meridian konnte leicht die der Ablenkung der Nadel von der Ebene des Ringes, wenn dieser im Meridiane stand, entsprechende Kraft berechnet werden.

Beide Tangenten-Bussolen waren so construirt, daß man den Ring um seine verticale Axe drehen konnte, ohne dadurch die zur Verbindung dienenden Klemmen zu verrücken. Es wurde dadurch nicht nur die Anwendung jenes zur Berechnung der Kraft aus den Ablenkungen geeignete Verfahren möglich gemacht, sondern auch die Einstellung sehr erleichtert.

Die kleine Tangenten-Bussole war für Versuche, bei denen die Genauigkeit $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{1000}$, das heisst bei einer Ablenkung von 45 Grad 0,002 bis 0,004, nicht zu überschreiten braucht, ein sehr bequemer Apparat, der leicht eingestellt und beobachtet werden konnte und während der ganzen Reihe von Versuchen keine Veränderung erlitt.

Der *Rheostat R* ist einer der hübschen in Berlin gefertigten Serpentin-Cylinder mit einer Spirale von Neusilber-Draht, der zugleich als Gewinde dient, und einem durch eine starke Feder an den Draht gedrückten Röllchen. Sie verlangen jedoch grofse Vorsicht im Gebrauch, da die Feder nicht immer gleichförmig andrückt und dadurch, namentlich bei schwachen Leitungs-Widerständen, grofse Schwankungen hervorbringen kann.

Der *Mutator M* hat neben den Näpfchen zur Sicherheit der Verbindung noch Klemmen. — Zuweilen war der Leitungs-Widerstand im Mutator nicht zu vernachlässigen. Denn wenn der Bügel mit dem galvanischen Elemente, das Kreuz mit *ef* (Fig. 2, Taf. III.) verbunden war, so wurde die Leitung, wenn der Bügel in *dc* tauchte, um das Drahtstück *cdef* länger als wenn der Bügel in *ef* tauchte. Dann pflegte ich die zu dem Kreuze führenden Verbindungs-Drähte in *d* und *e* oder in *c* und *f* zu legen, wobei dann die Umkehrung des Stroms keine Veränderung im Leitungs-Widerstande hervorbrachte. Jedoch war dieses selten nothwendig.

Von *Kreuzen* *K* wandte ich mehrere an, die in den Dimensionen, im Stoffe und in der Gestalt von einander verschieden waren. Sie bestanden gewöhnlich aus einem Paar gerader, flacher oder cylindrischer Stäbe zweier thermo-elektrisch verschiedener Metalle, die an ihren Enden Kupfer-Stifte trugen, welche vermittelt vier Näpfchen oder Klemmen mit den übrigen Theilen des Apparates verbunden wurden. Einige Kreuze, mit denen zur Vergleichung gewöhnliche thermo-elektrische Versuche angestellt werden sollten, hatten in ihrem mittleren Theile die Gestalt einer vierseitigen mit dem Scheitel nach unten gehenden Pyramide.

Die Kreuze waren durch Pappdeckel vor unregelmässiger Wärme-Strahlung geschützt.

Als *Galvanometer* konnte ich keinen Spiegel-Apparat anwenden, sondern mußte mich mit einem gewöhnlichen, für schwache Leitungs-Widerstände eingerichteten, mit Doppelnadel versehenen Instrumente begnügen, bei welchem man mit Sicherheit nicht über Zehntel-Grade ablesen konnte. Ein solches Galvanometer ist nur bei grosser Sorgfalt als Meß-Apparat anzuwenden. Die magnetische Kraft der beiden Nadeln wird durch starke Erschütterungen oder durch einen starken Strom, der hindurch geht, so verändert, daß man sie umstreichen muß, und selbst anscheinend unbedeutende Ursachen bringen zuweilen eine bemerkliche Veränderung in der relativen Kraft der beiden Nadeln und also auch in der Ablenkung hervor. Man darf daher nur solche Ablenkungen mit einander vergleichen, bei denen man sich von der Abwesenheit solcher Störungen überzeugt hatte.

Um die den Ablenkungen entsprechenden Kräfte zu finden, wurde ein Strom zugleich durch die Tangenten-Bussole und das Galvanometer geleitet, wobei jedoch die Wirkung auf das empfindliche Galvanometer durch eine starke Nebenleitung geschwächt war. Diese Vergleichen wurden von Zeit zu Zeit wiederholt und es fand sich, wie aus theoretischen Gründen zu erwarten war, daß, wenn

auch die absolute einer Ablenkung entsprechende Kraft sich verändert hatte, das Verhältniß der, verschiedenen Ablenkungen entsprechenden Kräfte nahe constant geblieben war. Man konnte daher auch mit dem Galvanometer quantitativ brauchbare Werthe erlangen. Aber dieser Theil der Arbeit war mühsam und trotz aller Sorgfalt dennoch gröfseren Beobachtungsfehlern uuterworfen als die übrigen.

Zu einer vollständigen Beobachtung gehörten zwei Able-
sungen des Galvanometers bei Strömen von gleicher Stärke,
die aber in entgegengesetzter Richtung durch das Kreuz
gingen; gewöhnlich wurde der Mutator mehrmals umgelegt
und kleine Differenzen durch Interpolation ausgeglichen.
Fast alle folgenden Angaben sind daher schon Mittelwerthe
mehrerer Able-
sungen.

Der Einfluß der Strom-Intensität auf die secundäre Wärme.

Durch Versuche mit Apparaten sehr verschiedener Art,
mit Ketten nach Grove, Bunsen, Daniell, mit einem
oder mit zwei Elementen, habe ich mich überzeugt, daß
die secundäre thermische Wirkung nicht von der Gröfse
der elektromotorischen Kraft, sondern nur von der durch
die magnetische und chemische Wirkung gemessenen Inten-
sität abhängt. Es war nun zunächst meine Aufgabe, das
Verhältniß zu finden, in welchem die secundäre Wirkung
zur Intensität steht.

Zu diesem Zwecke habe ich in den folgenden Tabellen
die Resultate einiger Beobachtungen zusammengestellt, bei
denen innerhalb einer jeden Reihe das Kreuz und die
übrigen Theile der Kette unverändert blieben, aber die
Intensität des Hauptstroms sehr verschiedene Werthe er-
hielt. Die Angabe der Winkel habe ich für unnöthig ge-
halten. Die Zahlen sind alle schon vollständig reducirt.

J ist die Intensität des durch die Tangenten-Bassole
gehenden Stromes, diejenige, bei welcher die Ablenkung
 45° betrug $= 1$ gesetzt. Diese Einheit behielt stets den-
selben Werth.

Alle übrigen Zahlen beziehen sich auf die Intensität des thermo-elektrischen, aus der Erwärmung der Kreuzungsstelle hervorgehenden Stromes, und das Galvanometer wirkt also hier als Thermometer. Als Einheit gilt auch bei ihm die der Ablenkung von 45° entsprechende Kraft. Aber diese kann nur innerhalb einer Tabelle als constant angenommen werden. Für Beobachtungen, die zu verschiedenen Zeiten angestellt sind, nimmt diese Größe zuweilen sehr verschiedene Werthe an;

α ist die aus der Ablenkung des Galvanometers berechnete Kraft, wenn die durch den primären und den secundären Wärme-Proceß hervorgebrachten Ströme dieselbe Richtung haben, der Kreuzungs-Punkt also durch beide erwärmt wird,

β wenn die secundäre Wirkung in einer Abkühlung besteht, die Ströme also entgegengesetzt sind,

a ist die der secundären, b die der primären Wirkung entsprechende Kraft. Also $a = \frac{\alpha - \beta}{2}$; $b = \frac{\alpha + \beta}{2}$.

1. Wismuth-Antimon-Kreuz No. 2, 4,5 Millm. dicke cylindrische Stäbe.

J	α	β	a	b	$a : J$	Med.
0,333	0,104	-0,093	0,098	0,005	0,328	0,306
0,782	279	194	236	042	302	
1,391	506	305	405	101	299	
2,123	988	272	630	358	297	

2. Dasselbe Kreuz, aber in anderer Stellung.

J	α	β	a	b	$a : J$	Med.
0,147	0,072	-0,042	0,057	0,015	0,388	0,385
0,386	180	129	154	026	401	
1,383	667	367	517	150	374	
1,464	711	388	550	161	376	

3. Wismuth-Antimon-Kreuz No. 6, 5,2 Millm. breite, etwa 0,7 Millm. dicke Platten.

J	α	β	a	b	$a : J$	Med.
0,315	0,215	-0,204	0,209	0,005	0,663	0,653
0,570	389	363	376	013	660	
0,913	607	555	501	026	636	

4. Wismuth-Kupfer-Kreuz No. 1, das Wismuth ein 4,5 Millim., das Kupfer ein 2,1 Millim. dicker Stab.

J	α	β	a	b	$\alpha : J$	Med.
0,299	0,143	-0,181	0,162	0,019	0,542	0,532
0,490	236	286	261	025	532	
0,665	321	392	356	035	535	
1,441	562	924	743	181	516	

Ein zweites Kreuz von demselben Stoff und ähnlichen Dimensionen gab damit fast identische Werthe.

5. Wismuth-Kupfer-Kreuz No. 2, das Wismuth ein 2,8 Millim., das Kupfer ein 2,1 Millim. dicker Stab.

J	α	β	a	b	$\alpha : J$	Med.
0,602	0,330	-0,267	0,298	0,031	0,483	0,473
0,970	528	386	451	071	471	
1,103	587	421	503	083	456	
1,174	653	461	557	096	475	
1,586	970	538	754	216	482	

6. Kupfer-Antimon-Kreuz No. 2, das Antimon ein 2,8 Millim., das Kupfer ein 2,1 Millim. dicker Stab.

J	α	β	a	b	$\alpha : J$	Med.
0,168	0,023	-0,023	0,023	0,000	0,137	0,138
214	031	031	031	000	145	
338	048	045	046	000	136	
418	056	054	051	001	132	
654	095	092	093	001	142	

7. Dasselbe Kreuz in einer anderen Stellung.

J	α	β	a	b	$\alpha : J$	Med.
0,452	0,098	-0,094	0,096	0,002	0,212	0,209
1,300	318	222	270	048	207	

8. Kupfer-Eisen-Kreuz, das Kupfer ein 5 Millim., das Eisen ein 8 Millim. dicker Stab.

J	α	β	a	b	$\alpha : J$	Med.
0,228	0,056	-0,049	0,052	0,003	0,232	0,243
0,458	113	107	110	005	240	
0,744	205	163	184	021	247	
1,197	345	246	295	045	246	
1,297	369	259	324	065	249	

9. Neusilber-Eisen-Kreuz, 4,8 Millm. dicke Stäbe.

J	α	β	a	b	$a : J$	Med.
0,697	0,051	-0,053	0,052	0,001	0,074	0,074
1,034	069	085	011	08	074	
1,353	097	104	101	04	075	

Resultate aus diesen Tabellen.

Innerhalb einer jeden Reihe ist also $\alpha : J$ eine constante Gröfse; die secundäre Wärme oder Kälte ist der Intensität J proportional ¹⁾.

Die Gröfse b , das heifst die primäre Wärme-Entwicklung, ist bekanntlich dem Quadrate der Intensität proportional, und die oben mitgetheilten Versuche, wenn auch nicht geeignet dieses Gesetz nachzuweisen, weil b absichtlich möglichst klein genommen ist, zeigen doch ebenfalls, dafs b weit rascher fortschreitet als a .

Wenn man $A = a : J$, $B = b : J^2$ setzt, so ist

$$\alpha = a + b = AJ + BJ^2$$

$$\beta = -a + b = -AJ + BJ^2.$$

Wenn J von 0 an allmähig steigt, so ist β anfangs schwach negativ, die Ablenkung also der von α entgegengesetzt; es tritt an der Kreuzungs-Stelle eine wirkliche Abkühlung ein. Diese steigt mit der Intensität und wird am grössten, wenn $J = A : 2B$, wo β also ein Minimum und $= -\frac{1}{4} A^2 : B$ ist. Bei steigender Intensität wird die Abkühlung wieder kleiner und für $J = A : B$ ist sie wieder $= 0$ und wird dann positiv. Bei einer jeden gröfseren Intensität wird durch die Umlegung des Bügels daher wohl die Gröfse der Ablenkung im Galvanometer, aber nicht die Richtung geändert.

Ein Beispiel dieser Umkehrung findet sich in der folgenden Tabelle.

- 1) Diese schon vor einigen Jahren von mir gefundene Relation hat Hr. Dr. Szafarkiewicz in seiner oben erwähnten Abhandlung S. 17 mitgetheilt und durch Versuche bestätigt. Hr. v. Quintus-Idilius ist durch ein, von dem meinigen gänzlich verschiedenes Verfahren, zu einem ähnlichen Resultate gelangt.

Wismuth-Antimon-Kreuz No. 5, flache Stäbchen von 3 Millm. Breite
und 1 Millm. Dicke.

J	α	β	a	b	$a:J$	$b:J^2$
0,867	0,297	-0,073	0,185	0,112	0,213	0,15
1,804	940	+ 164	388	552	215	17

Also $A = 0,21$; $B = 0,16$ etwa, und bei $J = 1,3$ würde die Ablenkung $= 0$ seyn.

Sind P und Q die Werthe, welche die hier angenommenen Einheiten der kleinen Tangenten-Busssole und des Galvanometers nach absoluter Kraft erlangen würden, und A' und B' die Werthe von A und B bei der Reduction auf absolute Kraft, so ist

$$A' = QA : P; \quad B' = QB : P^2; \quad \frac{B'}{A'} = \frac{B}{AP}.$$

Die Gröfse $\frac{B}{A} = \frac{b}{aJ}$ ist eine für die Wärme-Erregung durch galvanische Ströme wichtige Constante. Sie ist unabhängig von der absoluten Intensität des Galvanometers und erlaubt die Vergleichung von Beobachtungen, bei denen sie verschieden ist. Für mehrere Kreuze, bei denen diese Constante bestimmt werden konnte, erlangte ich in verschiedenen Versuchen sehr übereinstimmende Werthe. So z. B. in einem Wismuth-Antimon Kreuz mit dünnen flachen Stäben.

J	a	b	$b:Ja$
0,579	0,310	0,054	0,30
0,721	142	033	0,32
1,862	126	073	0,31

Der Einfluss der Stellung der Kreuze.

Man muß, wenn man für $a:J = A$ constante Werthe erlangen will, stets dieselben Arme des Kreuzes mit der galvanischen Kette und dem Galvanometer verbinden. Wendet man das Kreuz, so erlangt man in der Regel abweichende Werthe; aber es spricht sich ein gewisses Gesetz dabei aus: Die dicken Kreuze zeigen nämlich weit kleinere Abweichungen als die dünnen.

Bei dem Wismuth-Antimon Kreuz mit 4,5 dicken Stäben unterschieden sich die Werthe von A in den vier Stellungen des Kreuzes höchstens in dem Verhältniß von 1,06 zu 1. Bei dem 2,8 Millm. dicken Kreuze dagegen wie 1,35 und bei flachen Stäben sogar wie 1,7 bis 2,0 zu 1.

Bei Wismuth-Kupfer- und Antimon-Kupfer-Kreuzen, wo das Kupfer 2,1 Millm. dick war, das andere Metall 2,8 oder 4,5 Millm., war das Verhältniß der Werthe von A für die dicken Kreuze 1,05 zu 1, für die dünnen wie 1,3 oder 1,5 zu 1.

Aehnliche Resultate erlangte ich bei hart gelötheten, aber gut ausgeglühten Eisen-Kupfer-Kreuzen.

Am stärksten sprach sich dieser Unterschied bei dem Neusilber Eisen aus. In einem Kreuze mit 4,8 Millm. dicken Stäben betrug die Differenz kaum $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{100}$, während bei dünnen von etwa 1 Millm. Stärke die Werthe von A je nach der Stellung der Arme zwischen 0,002 und 0,070 fielen.

Auch in den Werthen von B und $B:A$ bringt die Stellung des Kreuzes Unterschiede hervor, die aber mit denen von A in keinem deutlichen Zusammenhange stehen.

Die Ursache dieser Anomalie beruht auf den von Magnus, Svanberg und Franz beobachteten Erscheinungen. Ein metallischer Krystall hat je nach der Fläche, mit der er dem anderen Metall anliegt, verschiedene thermoelektrische Wirkungen. Sind es mehrere Krystalle, die thätig sind, so ist die Total-Wirkung dem Mittelwerth der Wirkungen der einzelnen Krystalle gleich. Je größer nun die Anzahl der regellos gelagerten Krystall-Individuen ist, desto weniger wird die Wirkung von demjenigen Mittelwerth verschieden seyn, der gewissermaßen das Product unendlich vieler Individuen ist. Wie die mittleren Temperaturen von Jahrzehenden weniger von einander abweichen wie die einzelner Jahre, so werden auch bei dünnen Stäben die Unterschiede in der Regel größer seyn als bei dicken, wenn die Individuen in beiden von ungefähr gleicher Größe sind.

Es wird mit den meisten Erscheinungen, die man einer Krystallisations-Kraft zuschreibt, eine gleiche Bewandtnis haben. Die Kraft Krystalle zu bilden hat jeder, oder wenn man Amorphie zulässt, fast jeder sich während der Beobachtung nicht verändernde Körper in gleichem Maasse. Aber um wenige und große Krystalle hervorzubringen, muß gewissen schwer zu erfüllenden Bedingungen genügt werden, und dann treten Erscheinungen auf, die nicht mehr von dem Stoffe allein abhängen, wie bei Körpern, die aus einer sehr großen Anzahl kleiner regellos gelagerter Individuen bestehen, sondern auch von der Lage der Krystallflächen.

Bei Eisen und Neusilber und in geringerem Grade auch bei Kupfer ist die Anzahl der in jedem Querschnitte neben einander liegenden Krystall-Körner zu groß als daß die Form derselben einen Einfluß üben könnte. Aber eben die Kleinheit der Krystalle und die Anwesenheit eines fein vertheilten zwischen die Körner der Hauptmasse sich lagern- den Stoffes geben dem Metalle die Fähigkeit sehr verschiedene Grade von Härtung anzunehmen, einem Zustande, der stets mit einer großen Ungleichförmigkeit des Gefüges und der Kohäsion, überhaupt, sowohl in verschiedenen Punkten als in *einem* Punkte in verschiedenen Richtungen, verbunden ist. Und wie aus Magnus schönen Versuchen bekannt ist, reicht eine Verschiedenheit der Härtung hin um große Unterschiede in der thermo-elektrischen Kraft hervorzubringen.

Die Polarisation des Lichtes ist nicht das einzige Gebiet, wo die durch rasche Abkühlung oder mechanische Kräfte hervorgebrachte Ungleichförmigkeit der Cohäsion, also eine Art Pseudo-Krystallisation, Erscheinungen hervorruft, die denen der wirklichen Krystalle verwandt sind.

Der Einfluß der Dicke und des Stoffes der Kreuze.

Es bedarf, um diese genau kennen zu lernen, chemisch reiner Körper, die nicht durch Löthung sondern durch Druck mit einander verbunden sind. Aber einige Versuche mit

Stäben, welche in ihrer Mitte durch starke Federn an einander gehalten wurden, gaben keine befriedigenden Resultate, weil es sehr schwer war die Berührung so gleichförmig zu machen, daß der Leitungs-Widerstand constant blieb. Ich beschränke mich hier auf einige Beobachtungen an den gewöhnlichen gelötheten Kreuzen.

Der Einfluß der Dicke der Stäbe auf den secundären Strom ist von dem, welche sie auf den primären hat, sehr verschieden. Bei diesem ist die durch den Strom entwickelte Wärmemenge dem Leitungs-Widerstande direct proportional, also z. B. bei Stäben von einem drei Mal so großen Querschnitt $\frac{1}{3}$ so groß, oder die Temperatur-Differenz $\frac{1}{3}$ so groß.

Bei der secundären Wärme steht dagegen bei allem Schwanken in der Größe der Kraft *A* das Resultat fest, daß sie in dicken Stäben *nicht* kleiner ist als in dünneren. Ich besaß von mehreren thermo-elektrischen Combinationen Kreuze von ungleicher Dicke. Wenn man beide auf gleiche Leitungs-Widerstände reducirte, so standen die Werthe von *A* in zwei Wismuth-Antimon-Kreuzen, deren Stäbe 4,5 Millm. und 2,8 Millm Dicke hatten, wo also die Querschnitte sich wie 2,6:1 verhielten, in dem Verhältniß 1,1 zu 1.

Bei zwei Wismuth-Kupfer-Kreuzen, wo die cylindrischen Wismuth-Stäbe 4,5 und 2,8 Millm. dick waren, und die Kupfer-Stäbe 2,1 Millm, war das Verhältniß 1,3:1, und ähnliche Resultate waren bei Kreuzen von Neusilber-Eisen und Kupfer-Eisen. Bei zwei flachen Wismuth-Antimon-Kreuzen, die 0,7 Millm. dick, aber 5,2 und 2,0 Millm. breit waren, stimmten die Werthe noch mehr überein als in den cylindrischen Stäben, nämlich wie 1,05:1.

Da die im Galvanometer wirkenden ablenkenden Kräfte den Temperaturen der Löthstelle nahe proportional sind, so ist die durch einen galvanischen Strom von gewisser Größe im Kreuze erregte Temperatur Differenz, wenigstens innerhalb der von mir angewendeten Dimension beinahe unabhängig von dem Querschnitt, jedenfalls in dickeren

Stäben nicht kleiner als in dünneren. Man wird also bei Untersuchungen über die secundäre Wärme sich dicker Stäbe bedienen müssen, welche an Kraft den dünnen nicht nachstehend von manchen Störungen frei sind, durch welche die Beobachtungen an dünneren Kreuzen gestört werden.

Was den Einfluss des *Stoffes* betrifft, so glaubte Peltier anfangs, daß die secundäre Wirkung von der Leitung abhängt. Dieses ist jedoch der Fall nicht, und schon die ersten Physiker, welche seine Versuche wiederholten, gaben das richtige Gesetz an, daß die Metalle in ihrer Fähigkeit die secundäre Wärme hervorzubringen, dieselbe Reihenfolge beobachten, wie bei dem gewöhnlichen thermo-elektrischen Prozesse. In beiden standen Wismuth und Antimon an den Grenzen und Kupfer nicht gar weit von der Mitte entfernt. Aber quantitativ genaue Beobachtungen über die relative Intensität der Wirkungen verschiedener Metall-Combinationen sind bis jetzt weder in dem einen noch dem anderen Gebiete in genügender Weise vorhanden.

Nimmt man an, daß beide einander proportional sind, so wird sich bei der Vergleichung von zwei Combinationen, deren thermo-elektrische Differenzen sich wie $m:n$ verhalten, in den Temperatur-Differenzen ebenfalls das Verhältniß von $m:n$ zeigen. Da aber gleiche Temperatur-Differenzen in empfindlicheren thermo-elektrischen Elementen eine größere Wirkung hervorbringen, so werden die durch die beiden Kreuze erregten Stromkräfte in dem Verhältniß $m^2:n^2$ stehen; also den Quadraten der bloß thermo-elektrischen Wirkung proportional seyn.

Ich hoffe in Kurzem einige diesen Gegenstand betreffende Versuche mittheilen zu können.

Rückwirkung auf die galvanische Kette.

Der secundäre, durch die Erwärmung oder Erkältung der Löthungsstelle erregte Strom geht natürlich nicht bloß durch die nach dem Galvanometer führenden Arme des Kreuzes, sondern auch in gleicher Stärke durch diejenigen, welche nach dem Hauptstrom zurückgehen und zwar immer

in einer diesem entgegengesetzten Richtung; der Hauptstrom wird daher durch den secundären Strom stets geschwächt. Wenn z. B. in einer Kupferleitung ein Wismuthstück eingeschaltet wird, so wird der Hauptstrom durch die primäre Wärme keine Veränderung erleiden, weil die dadurch an beiden Gränzstellen erregten Ströme einander gleich und entgegengesetzt sind. Aber die secundäre Wirkung, die an der einen Gränze in Abkühlung, an der anderen in Erwärmung besteht, bringt an beiden Orten Ströme von gleicher Richtung hervor und der Verlust des Hauptstroms ist daher das Doppelte von dem durch Kupfer und Wismuth erzeugten secundären Strom.

Wo solcher Wechsel mehrere sind, wie in einer thermoelektrischen Batterie, da ist der Verlust, den, ganz abgesehen von dem Leitungs-Widerstande, die elektromotorische Kraft erleidet, der Anzahl der Wechsel proportional.

Vielleicht erklärt sich dadurch der Unterschied, den man in dem Leitungsvermögen mehrerer dem Anscheine nach gleichartiger Körper gefunden hat. Bei den grob krystallinischen Metallen kann er von der Lage der Krystalle herrühren, in denen die Leitungsfähigkeit in verschiedenen krystallographischen Richtungen ungleich ist. Aber diese Erklärung findet auf die zähen Metalle keine Anwendung, wo die Individuen in der Regel sehr klein sind. Dagegen kann hier die Beimengung eines fremden Stoffes von Einfluß seyn. Ein Stück Eisen und Kohle oder Kohlen-Eisen so gelegt, daß der galvanische Strom die Gränze nur zwei Mal überschreitet, wird keine merkliche Schwächung desselben hervorbringen; wenn aber beide sehr fein gemengt sind, so daß solche Uebergänge viele tausend Mal stattfinden, so muß allerdings eine beträchtliche Schwächung der elektromotorischen Kraft eintreten.

Es bedarf dazu sogar nicht einmal der Beimengung eines heterogenen Körpers, da schon der bloße Uebergang der Elektrizität von einem Krystall in einen anderen von abweichender Lage einen Gegenstrom hervorbringt. Ein grobkörniger Kupferdraht z. B. wird weniger Verlust erle-

leiden, als ein sehr fein körniger; da galvanoplastisch gebildetes Kupfer grobkörniger ist als geschmolzenes, so wird jenes, besonders wenn sein Gefüge durch starkes Ziehen so wenig wie möglich verändert ist, ebenso leiten als dieses. Die Beobachtungen von W. Weber, der galvanoplastisch und gewöhnliches Kupfer auf ganz gleiche Weise untersuchte, ergaben für den Leitungs-Widerstand des gewöhnlichen Kupfers 1,108 des galvanoplastischen $= 1$ gesetzt, was unserer Vermuthung entspricht. Ein Metall wie Zink würde übrigens bei Versuchen dieser Art eine stärkere Differenz geben wie Kupfer, das in tesseralen Formen krystallisirt und daher für die Berührung heterogener Flächen weniger Gelegenheit bietet.

Die Thermo-Elektricität.

Um die Temperatur, welche einer secundären Wärme-Entwicklung entspricht, in gewöhnlichen Thermometer-Graden angeben zu können, waren die Kreuze so gebogen, daß der Löthungspunkt den Scheitel einer nach unten gekehrten Pyramide bildete, und leicht in ein Wasserbad getaucht werden konnte. Die Intensität des gewöhnlichen thermo-elektrischen Stromes wurde dann mit derjenigen des secundären Stromes verglichen und daraus die Temperatur, die diesen hervorbrachte, bestimmt. Auf diese Weise fand ich, daß die Temperatur-Differenz der Löthstelle für eine Stromstärke von 45° in der kleinen Tangenten-Busssole bei einem Eisen-Kupfer-Kreuze gegen 20° C. betrug.

Ich behalte mir über diese Versuche noch eine spätere Mittheilung vor, da es bis jetzt noch nicht gelungen ist, alle Schwierigkeiten zu beseitigen, weil jede Aenderung in dem Gefüge eine Veränderung der thermo-elektrischen Kraft zur Folge hat. Zuweilen tritt eine solche Veränderung sogar während der Beobachtung ein, so daß ein constanter Zustand, der sonst nach fünf Minuten erlangt wird, nach 20 bis 30 Minuten und länger noch nicht eingetreten ist.

Dies ist vielleicht auch die Ursache, daß wir so wenige Messungen über die Intensität der thermo-elektrischen Kraft besitzen, obgleich ihm Erscheinungen von vielen Störungen frei sind, welche der chemische Proceß bei den hydro-galvanischen Strömen hervorbringt.

Auch muß die Thermo-Elektricität wohl auf eine von der üblichen etwas abweichende Weise aufgefaßt werden. Der Strom entsteht eigentlich nicht durch die Erwärmung oder Erkältung der Berührungs-Stelle zweier heterogener Metalle, sondern die Temperatur-Veränderung beseitigt nur ein Hinderniß, welches die Wahrnehmung des schon vorhandenen Stromes verhindert. So lange alle Löthstellen einer geschlossenen metallischen Kette eine gleichförmige Temperatur haben, ist kein Strom sichtbar, weil die verschiedenen an den Gränzstellen entstehenden Ströme sich neutralisiren.

Wenn AB , BC . . die Strom-Intensitäten an der Gränzstelle des ersten und zweiten, zweiten und dritten u. s. f. Metalles sind, so ist in jeder Temperatur, wenigstens derjenigen unserer Beobachtungs-Lokale,

$$AB + BC + CD + DA = 0.$$

Daraus folgt *erstlich*, daß stets $AB + BC = -CA$, und *zweitens*, daß die Veränderung, welche die Stromkraft je nach der Temperatur erfährt, für alle Combinationen, wenigstens innerhalb jener Gränzen, gleichförmig ist.

Es entsteht also, wo zwei heterogene Metalle sich berühren, ein Strom, dessen Intensität eine vom Stoffe innerhalb jener Gränzen unabhängige Function der Temperatur ist. In einer ganz metallischen Kette ist die Summe der Ströme gleich Null. Aber die Metalle folgen in der Intensität ihrer Wirkung nicht der sogenannten Spannungsreihe: Platin, Kupfer, Zink, sondern der thermo-elektrischen; und die wahre Contact-Elektricität wäre demnach nicht die gewöhnliche Volta'sche, sondern die Seebeck'sche.

Der hydrogalvanische Strom würde also, wenn diese Auffassung richtig ist, einen chemischen Ursprung haben und die gewöhnliche Reibungs-Elektricität einen theils

thermo-elektrischen theils chemischen, in unserer Elektrisir-Maschine zuverlässig der letzte. Es bleiben zwar, wie man auch die Natur der hydro-galvanischen Kette auffassen mag, immer einige Erscheinungen unerklärt, aber der Vorzug ist meines Erachtens auf Seite der chemischen Theorie.

II. *Theorie des elektrischen Rückstandes in der Leidener Flasche; von R. Kohlrausch.*

(Schluß von S. 82.)

9.

Wir wollen nun einen Augenblick die gewöhnliche Erklärungsweise des elektrischen Rückstandes näher ins Auge fassen.

Es soll nach ihr der Druck der gleichartigen Elektricität derselben Belegung und der starke Zug der entgegengesetzten auf der anderen Belegung nach und nach einen Theil derselben in das Glas hineinpressen. Entweder diese ganze eingedrungene Menge oder nur ein tiefer gelegener Theil derselben ist verhindert, an der Entladung Theil zu nehmen, und kommt später nach und nach zum Vorschein; denn obschon die gegenseitige Anziehung zwischen diesen im Glase befindlichen Elektricitäten nicht aufgehört hat, kann man doch, ohne der Substanz des Glases eine abstossende Kraft beizulegen, das Hervortreten dadurch erklären, daß nach der Entladung die Gleichgewichtsverhältnisse ganz andere geworden seyen, namentlich der Druck der gleichartigen Elektricität auf der entsprechenden Belegung aufgehört habe.

Mit dieser Erklärungsweise ist aber zugleich unabweisbar die Annahme verbunden, daß das Potential der nach der Entladung im Glase verbliebenen Elektricität auf jeden Punkt im Inneren der isolirten Belegung gleich Null

sey. Um das einzusehen braucht man nur folgende Schlüsse zu beachten.

Die isolirte Belegung sey positiv geladen gewesen. Der Voraussetzung gemäß soll unter ihr im Glase eine Schicht positiver, auf der anderen Seite eine Schicht negativer Elektricität sich befinden. An der Entladung haben diese eingedrungenen Elektricitäten ganz oder theilweise keinen Antheil nehmen können, und ihre Bewegung im Isolator ist so langsam, daß sie für die kurze Dauer der Entladung als unbeweglich betrachtet werden. Trotz der Kürze der Entladungszeit hat sich aber, weil während dessen beide Belegungen mit der Erde leitend verbunden waren, doch ein Gleichgewichtszustand bilden müssen. Sollte also das Potential der im Glase verbliebenen Elektricitäten auf einen Punkt der vorher positiven Belegung nicht gleich Null seyn, d. h. sollten sich die Wirkungen dieser elektrischen Massen auf den fraglichen Punkt nicht aufheben, so müßte durchaus auf den die Elektricität leitenden Theilen des Körpersystems und zwar hier doch wohl auf den Belegungen noch irgend anderweitige Elektricität sich aufgehäuft haben, welche mit den im Glase befindlichen zusammen den Gleichgewichtszustand hervorbrächten. Fragen wir, von welcher Art diese, wie man sagt, gebundene Elektricität seyn werde, und denken wir dabei an die Franklin'sche Tafel, so leuchtet ein, daß auf der dem Glase zugewendeten Seite der Belegung, welche der positiven Schicht im Glase am nächsten ist und welche zuerst positiv geladen gewesen war, jetzt negative Elektricität sich befinden werde. Denn da auf dieser Belegung zuerst ein sogenannter Ueberschuß von Elektricität sich befand, kann doch wohl nicht angenommen werden, daß gerade hier weniger Elektricität in das Glas gedrungen sey, als auf der anderen Seite, und man wird deswegen glauben müssen, daß die Wirkung dieser positiven Schicht auf die ihr nahe stehende Belegung bedeutender seyn werde, als die der entfernteren negativen. Dieser ungleichen Wirkung kann nur begegnet werden, wenn man ein richtiges Quantum

negativer Elektricität auf der Innenseite von irgend einer der beiden Belegungen annehmen wollte. Da es indessen keinen Sinn hat, dieses Quantum, und zwar dann ein größeres, auf die Seite zu verlegen, wo im Glase die negative Schicht sich befindet, so kann es nur auf der andern Seite, also unter der vorher positiven Belegung, gedacht werden.

Nun aber leuchtet ein, dafs, wenn dieser Zustand wirklich existirte, auf der wieder isolirten Seite nur ein Rückstand aufgesammelt werden könnte, welcher dem Unterschiede der in das Glas gedrunenen positiven und der unter der Belegung gebundenen negativen Elektricität gleich wäre. Die Erfahrung zeigt aber, dafs der gesammelte Rückstand desto näher gleich dem Verluste an disponibler Ladung ist, je weniger Elektricität an die Luft verloren gegangen ist, je kürzere Zeit man nämlich die Tafel geladen stehen liefs, so dafs kein Zweifel seyn kann, dafs diese beiden Gröfsen genau gleich sind, wenn aller Elektricitätsverlust vermieden werden könnte.

Damit scheint bewiesen zu seyn, dafs das Potential der bei der Entladung im Glase verbliebenen Elektricität in Beziehung auf das Innere der zu prüfenden Belegung wirklich gleich Null angenommen werden müsse, wie auch die Proportionalität zwischen der disponiblen Ladung und der Spannung am Knopfe der Flasche es von vorn herein zu fordern scheint.

Man bedenke ferner Folgendes:

1. Entladet man die Franklin'sche Tafel, dreht sie um und verbindet das Sinuselektrometer mit der Belegung, welche vorher mit der Erde verbunden gewesen war, während man die vorher positive isolirte Seite jetzt mit der Erde verbindet, so bekommt man einen Rückstand von negativer Elektricität.

2. Wenn eine Franklin'sche Tafel von genau gleichen Seiten auf diesen Seiten genau gleich mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen wäre, so würden die in das Glas eingedrunenen Mengen doch auch ganz gleich

in Beziehung auf Anordnung und Gröfse seyn. Bei einem solchen Zustande wäre doch ganz gewifs das mehrbesagte Potential nicht gleich Null. Wie wenig aber weicht bei einer dünnen Tafel von diesem Zustande derjenige ab, der entsteht, wenn die eine Belegung mit der Erde verbunden bleibt! Und soll man, wenn man das Factum 1. bedenkt, nicht glauben, dafs man bei ganz gleich aber entgegengesetzt geladenen Seiten den Rückstand erhalten werde?

3. Weshalb giebt die dickere Franklin'sche Tafel bei gleicher Ladung der Belegungen den gröfseren Rückstand?

4. Weshalb wächst der Rückstand nicht immerfort, je länger die Flasche geladen steht, weshalb nähert er sich einem bestimmten mit der Gröfse der Ladung zusammenhängenden Maximum?

Das sind Punkte, welche bei einigem Ueberdenken gerechte Zweifel an der Richtigkeit der ganzen Hypothese von der in das Glas gedrungenen Elektricität aufkommen lassen und es jedenfalls erlauben, zu versuchen, eine andere Hypothese an die Stelle zu setzen, welche alle diese Fragen löst. Verlassen wir deswegen die ganze bisherige Vorstellungsweise und suchen uns etwas Neues.

10.

Bei diesem Aufsuchen werden wir am besten thun, von dem Elektricitätsverlust an die Luft zunächst ganz abzu-
sehen, der, wenn auch unvermeidlich, doch zufällig ist, und die Erscheinungen des Rückstandes in ihrer Reinheit aus den früher hingestellten Thatsachen uns zu abstrahiren, um daran Schlüsse zu knüpfen. Dann zeigt sich die Erscheinung folgendermafsen:

Der isolirten Belegung der Franklin'schen Tafel ist ein Quantum Q von Elektricität mitgetheilt, wobei sich ein bestimmter Gleichgewichtszustand gebildet hat. Dieser Gleichgewichtszustand verändert sich nun allmählig in der Art, dafs ein Theil r von Q in einen neuen Zustand ge-

räth, in welchem er gar nicht mehr auf die elektroskopische Spannung wirkt, und dieser Theil r wächst, anfangs rasch, dann immer langsamer mehr und mehr einer bestimmten Gränze R zu, die er nur als asymptotisch erreicht. Dieses R ist für dieselbe Flasche ein ganz bestimmter Theil von Q , so daß wir haben $R = pQ$. Genau derselbe Theil r ist an der Entladung verhindert, fängt aber, sobald $Q - r$ entladen ist, alsobald an, sich zum Theil in disponible Ladung zu verwandeln und die Verwandlung geht, immer langsamer werdend, dem Gränzzustande entgegen, wo abermals ein gewisser nicht zu entladender und elektroskopisch nicht wirkender Theil $r' = pr$.

Statt nun den Theil r der Ladung, den wir den verborgenen Rückstand genannt haben, uns wie bei der älteren Hypothese gewissermaßen in ein Gefängniß gesetzt zu denken, aus dem er nicht heraus kann, weder persönlich noch auch rücksichtlich seiner Wirkung, steht es uns offenbar frei, ihn uns noch immer auf der Unterseite der Belegung, oder was dasselbe ist, auf der Oberfläche des Glases zu denken, jedoch einem Einflusse unterworfen, welcher sich nach der Ladung der Tafel und zwar durch die Ladung der Tafel selbst gebildet hat. Dieser neue Einfluß muß, damit den Erscheinungen entsprochen werde, rücksichtlich seiner Größe nicht nur eine Function von Q , sondern auch eine Function der Zeit seyn. Denn er muß nach der Ladung der Flasche allmählig entstehen, bis zu einer von Q abhängigen Gränze wachsen und nach der Wegnahme der noch disponiblen Ladung erst allmählig sich vermindern.

Fragen wir uns, welches Etwas einen Einfluß ausüben könne auf die Elektrizität, so können wir nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft nur sagen, daß dieses Etwas selbst wieder Elektrizität seyn müsse. Fragen wir, wo dasselbe seinen Sitz habe, so gebietet der Umstand, daß es fortbesteht, wenn beide Belegungen mit der Erde verbunden werden, die Annahme, daß sein Sitz im Isolator im Glase sich befinde. Fragen wir endlich, wie es mög-

lich sey, daß dieses Etwas, also diese im Glase befindliche Elektricität, unter der einen Belegung positive, unter der anderen negative Elektricität fessele, so zeigt eben dieses Factum von entgegengesetzter Wirkung nach entgegengesetzten Seiten, daß das Glas in einen polaren Zustand gerathen, und denken wir endlich, um uns klarer zu werden, an ähnliche Zustände, also z. B. an das *magnetische Moment*, wie Gauss es in seiner »*Intensitas* etc.« hingestellt hat, so geht sogleich die unbestimmte Bedeutung in eine ganz bestimmte über.

Die Definition vom magnetischen Momente, wie sie von Gauss in seiner berühmten Schrift auf der 13. Seite unter der Voraussetzung magnetischer Fluida festgestellt ist, kann ohne weiteres wörtlich auf die elektrischen Fluida eines jeden Körpers übertragen werden, so daß man das so definirte elektrische Moment den Erklärungen der meisten elektrischen Erscheinungen zum Grunde legen könnte. Offenbar aber würde man dadurch unnöthiger Weise einen neuen Ausdruck für das einführen, was unter dem Worte *elektromotorische Kraft* oder auch *Potential* schon seinen Namen in der Wissenschaft erhalten hat. Namentlich würde dieser Ausdruck für Conductoren oder Leiter nicht gut passen, bei denen das elektrische Moment durch jeden äußeren Einfluß verändert wird, während man mit dem magnetischen Momente eines Magneten die Vorstellung verbindet, daß dasselbe stabil, wenigstens innerhalb ziemlicher Gränzen, der Hauptsache nach von äußeren Einflüssen unabhängig sey. Für den Zustand und die Wirkungsweise eines Körpers aber, in dessen Innerem die elektrischen Fluida ungleich vertheilt sind und sich gar nicht oder doch nur äußerst langsam bewegen können, haben wir, weil dieser Zustand ein hypothetischer ist, noch kein besonderes Wort und da mag es nicht unpassend erscheinen, das Wort »*elektrisches Moment*« einzuführen.

Denken wir uns, daß es möglich wäre, daß durch irgend einen Grund die neutrale Elektricität im Innern eines Isolators so geschieden würde, daß

a) unter der Oberfläche auf der einen Seite eine Schicht positiver, auf der entgegengesetzten eine Schicht negativer Elektricität sich bildete, oder dafs

b) eine Reihe solcher abwechselnder paralleler Schichten hintereinander läge, oder dafs

c) bei allen einzelnen kleinsten Theilchen die Scheidung in derselben Richtung erfolgt wäre, ohne dafs die Elektricitäten von einem Theilchen auf ein anderes übergehen könnten, und nähmen wir nun an, dafs ein solcher Zustand auch nach dem Aufhören der Ursache, welche im Innern eine der besagten Trennungen der Elektricitäten hervorgebracht hat, noch fort dauere, so würde ein solcher Isolator auf einen aufserhalb gelegenen Punkt eine Wirkung, d. h. eine elektromotorische Kraft, ausüben können.

d) Auch ein vierter Zustand ist gedenkbar, dafs nämlich an jedem einzelnen Theilchen des Glases die Elektricitäten von Natur schon geschieden seyen, für gewöhnlich aber darum eben so wenig nach ausen wirken, wie die Molecularströme beim weichen Eisen, weil ihr eigener Gleichgewichtszustand eine solche Wirkung nicht erlaubt, dafs aber durch irgend einen Einfluß die einzelnen Theilchen mit den fest an ihnen haftenden Elektricitäten in demselben Sinne mehr oder weniger gedreht werden, so dafs auch in diesem Falle die Summe aller Entfernungen der positiven Theilchen von irgend einer Ebene eine andere ist, als die Summe aller Entfernungen der negativen. In Beziehung auf irgend eine Ebene wird unter Umständen der Unterschied dieser Summe am grössten seyn können, und in Beziehung auf diese Ebene, oder auf die zu ihr gehörige Normale wird dann das elektrische Moment des Körpers ein Maximum, so dafs man diese Normale die elektrische Axe nennen könnte.

Wenn z. B. eine Glasplatte mit ihren Hauptflächen g und h symmetrisch zwischen zwei mit entgegengesetzter Elektricität geladene parallele Flächen, z. B. Metallbleche, gestellt würde, welche beziehungsweise G und H heissen sollen, so könnte man sich denken, dafs einer der genannten

vier Zustände a , b , c oder d allmählig in ihr erzeugt würde. Durch die elektromotorische Kraft dieser Bleche auf das Innere des Glases könnten hier die natürlichen Elektricitäten getrennt werden, so daß, wenn G positiv ist, jetzt die negativen Theilchen im Allgemeinen dem G näher liegen als die positiven. Werden dann die Bleche weggenommen, von denen, wie wir zunächst annehmen wollen, daß keine Elektricität unmittelbar auf die Glasflächen übergegangen sey, und dauert dann dieser Zustand im Glase noch fort, so besitzt das Glas ein elektrisches Moment, dessen Axe, wenn wir die Richtung der größten Wirkung so nennen wollen, normal auf den Oberflächen g und h des Glases liegt, und welches auf einen Punkt außerhalb dieser Flächen nun selbständig eine elektromotorische Kraft ausübt in der Art, daß auf der Seite g , wo vorher das positive Blech G gestanden hat, ein jetzt von Außen genähertes positives Elektricitätstheilchen angezogen, ein negatives abgestoßen wird, auf der Seite h umgekehrt. Stellen wir also das inmittelst entladene Blech G wieder an seinen Ort, so kann das Potential der im Glase befindlichen Elektricitäten in Beziehung auf einen Punkt im Innern des Bleches nicht Null seyn, sondern seine Elektricitäten müssen geschieden werden, so daß positive zur Herstellung des Gleichgewichtes so lange auf die dem Glase zugewendete Seite tritt, die entsprechende negative aber, wenn das Blech nicht isolirt ist, so lange abfließt, bis das Potential der gesamten Elektricität in Beziehung auf das Innere des Bleches gleich Null geworden ist. Damit ist dann auf diesem Bleche G ein Quantum positiver Elektricität in einer ganz bestimmten Weise der Anordnung, wie man sagt, gebunden. Hätten wir statt dessen auf die andere Seite das ebenfalls entladene und mit der Erde verbundene Metallblech H gestellt, so würde genau der entgegengesetzte Zustand sich hier gebildet haben, d. h. auf H wäre negative Elektricität gebunden. Haben wir aber zuerst G in der angegebenen Weise hingestellt, so daß auf ihm die zum Gleichgewichtszustande nöthige Vertheilungsweise sich

gebildet hat, so kann das Gleichgewicht nicht mehr eben so bestehen, wenn wir jetzt auch H wieder an seinen alten Platz hinstellen, denn zu der Wirkung der Glasplatte G kommt nun die gleichartige Wirkung der auf H sich aufhäufenden negativen Elektricität hinzu, so daß nun offenbar, wenn G und H abgeleitet sind, auf den dem Glase zugewendeten Seiten von ihnen mehr Elektricität aufgehäuft seyn muß, damit das Potential der gesammten Elektricität in Beziehung auf jeden Punkt im Innern der Metallbleche gleich Null sey, als der Fall seyn würde, wenn jedes der Bleche einzeln neben dem Glase stände.

In dem Ganzen wird offenbar nichts geändert, wenn wir die Bleche bis zur Berührung an das Glas bringen und so haben wir eine Franklin'sche Tafel, welche geladen ist, ohne entladen werden zu können. Der Zug des elektrischen Momentes im Glase vertritt gleichsam den Druck der freien Elektricitäten auf den Außenflächen der Belegung bei gewöhnlicher Ladung, welche freie Elektricität die Entladung der Tafel bedingt. Wenn hierbei auch nicht gesagt seyn soll, daß die Vertheilungsweise der Elektricitäten auf den Belegungen einer durch ein elektrisches Moment des Glases geladenen Tafel dieselbe sey, wie bei der gewöhnlich geladenen Tafel, so muß doch einleuchten, daß irgend eine solche Vertheilungsweise möglich sey, welche Gleichgewicht bedingt.

Isoliren wir jetzt die eine der Belegungen und führen hier von derselben Elektricitätsart, welche auf ihr sich schon befindet, ein neues Quantum hinzu, so daß auf der anderen Seite ein entsprechendes Quantum der entgegengesetzten Art gebunden wird, so werden diese neue Elektricitäten sich so vertheilen, als ob die Tafel ganz ungeladen wäre. Es tritt hier der statische Grundsatz ein, daß, wenn ein System von Kräften im Gleichgewichte ist, dieses noch bestehen wird, wenn ein anderes System von Kräften, das für sich im Gleichgewicht ist, jenem hinzugefügt wird. Es wird also die Spannung an irgend einem Punkte der isolirten Belegung proportional seyn der neu

mitgetheilten Elektricitätsmenge und nur diese wird zu einer Entladung disponibel erscheinen.

Nun braucht man die Reihenfolge der Gedanken nur umzukehren und man sieht, daß in dem Gesagten die Erscheinungen des elektrischen Rückstandes enthalten sind.

Im Anfange sey Alles an der Franklin'schen Tafel unelektrisch. Dann werde sie auf der isolirten Seite geladen mit einem positiven Quantum Q , wodurch auf beiden Seiten eine gewisse Vertheilungsweise entsteht. Jetzt bildet sich allmählig im Glase ein elektrisches Moment, welches in seiner Rückwirkung eine neue Vertheilungsweise hervorbringt, in der Art, daß es Q in zwei Theile theilt, welche, zwei verschiedenen Gleichgewichtssystemen angehörend, über einander gelagert sind. Diejenige Menge r , welche unter der isolirten Belegung vorhanden seyn muß, damit sie der neu hinzugekommenen Wirkung des elektrischen Momentes das Gleichgewicht hält, ist dem Q in der Art entzogen worden, daß sich nur noch das Quantum $Q - r = L$ in der anfänglichen Weise als disponible Ladung über die Belegung vertheilt und überhaupt entladen läßt.

Wir setzen irgend einen alsbald zu besprechenden Grund voraus, weshalb sich das elektrische Moment nur langsam bildet und nur ein von der Elektricitätsmenge Q abhängiges Maximum erreichen kann, bei welchem dann $r = pQ$. So viel ist aber sogleich klar, daß wir in unsere Vorstellung von der Sache aufnehmen müssen, daß nicht bloß der disponible Theil L der Ladung auf die Weiterbildung des elektrischen Momentes wirke, sondern die elektromotorische Kraft der ganzen auf den Glasflächen befindlichen Elektricitätsmenge Q oder $L + r$, denn es ist gar kein Grund vorhanden, weshalb in dieser Beziehung ein Theil der Ladung unwirksam seyn sollte. Denselben Grund, welcher die langsame Entstehung des Momentes bedingt, legen wir auch einem langsamen Verschwinden unter.

So erklärt sich dann sehr einfach, wie nach der Ent-

ladung der Tafel der verborgene Rückstand r sich so lange wieder in disponible Ladung umsetzt, bis der von ihm noch verbleibende Theil r' sein Maximum pr bekommen hat. Ebenso erklärt sich, wie dann, wenn plötzlich ein Theil der Ladung genommen wird, je nach dem Verhältniß des schon gebildeten Rückstandes zu der noch gebliebenen Elektrizitätsmenge die disponible Ladung entweder langsamer sinkt als zuvor, oder steht, oder wächst.

Wir haben bisher vom Elektrizitätsverluste abstrahirt. In der Wirklichkeit, wo ein solcher immer eintritt, kann natürlich der Rückstand kein festes Maximum erreichen, sondern es hängt nun der nach der Zeit t gebildete Zustand der Tafel ganz von dem Verhältnisse der Geschwindigkeiten ab, mit welchen der Rückstand erzeugt und Elektrizität an die Luft verloren wird. Aus diesem Gesichtspunkte lassen sich alle Erscheinungen erklären, doch gewinnen die Erklärungen erst einen festen Boden, wenn das Gesetz der Rückstandcurve im §. 11 abgeleitet seyn wird.

Es ist noch übrig, den Grund zu besprechen, welcher im Glase gewissermaßen ein Widerstreben dagegen erzeugt, sich dem Einflusse der außen befindlichen Elektrizitäten, also der Bildung des elektrischen Momentes zu fügen. Gerathen wir dabei noch tiefer in das Gebiet der Hypothesen, was gewagt erscheint, wenn man bedenkt, daß wir weder über die eigentliche Natur der Elektrizität noch über die Gesetze der Molecularkräfte etwas wissen, so dürfte ein solcher Versuch doch erlaubt erscheinen, sobald wir nur an ganz bestimmte Begriffe uns halten und aus den Betrachtungen ein Resultat gewinnen.

Nun kann man über die langsame Bildung des Rückstandes, oder des ihm zum Grunde liegenden elektrischen Momentes zwei wesentlich von einander verschiedene Annahmen machen:

1. Die Elektrizität geht wirklich von einem Glastheilchen zum andern über, ohne jedoch die Oberflächen des Glases zum Zwecke einer Vereinigung mit den dort be-

findlichen entgegengesetzten Elektricitäten durchbrechen zu können, so daß ein Zustand gebildet wird, gerade entgegengesetzt dem, wie er beim Eindringen der Elektricitäten von außen in das Glas angenommen wurde. Nach der Entladung vereinigen sich die im Glase geschiedenen Elektricitäten auf demselben Wege, auf dem sie geschieden wurden. Dann kann man die Langsamkeit der Bewegung auf die außerordentlich beschwerliche Wanderung im Innern des schlechten Leiters, ganz nach Analogie des Leitungswiderstandes schieben, den Gränzwert des Momentes aber dem Umstande zuschreiben, daß sich endlich innerhalb des Glases und auf den Belegungen eine solche Vertheilungsweise gebildet habe, daß das Potential der gesammten Elektricität in Beziehung auf jeden Punkt im Innern des Glases constant sey. Ob die Möglichkeit einer solchen Vertheilungsweise nachgewiesen werden könne, muß dahingestellt bleiben. Daß bei dieser Hypothese in die Oberfläche eine ganz besondere Kraft der Elektricität gegenüber gelegt wird, erscheint sonderbar, aber man würde es sich gefallen lassen, wenn sonst Alles gut paßte, denn die Oberfläche ist einmal etwas ganz anderes als das Innere. Den Umstand aber, daß die dicke Glasplatte einen größeren Rückstand liefert als die dünne, wird man schwerlich aus dieser Vorstellungsweise ableiten können. Sehen wir deshalb die zweite.

2. Die Elektricität geht nicht von einem Glastheilchen auf das andere über, sondern scheidet sich entweder nur, nach Analogie des alten Magneten, an jedem einzelnen Theilchen, oder war an diesen Theilchen schon geschieden und die Theilchen werden mit den fest an ihnen haftenden Elektricitäten gedreht. Bei der ersteren Annahme muß man den einzelnen Glastheilchen eine Kraft zuschreiben, welche die Scheidung und die damit verknüpfte Bewegung nur allmählig zu Stande kommen läßt, und sich ihr immer mehr widersetzt, je weiter sie getrieben wird, so daß daher der Gränzwert des Rückstandes rührt. Obschon auch in diesem Falle die Molecularkräfte die Rolle des Wider-

standes übernehmen könnten, in so fern man mit der Scheidung der Elektricitäten zugleich eine Verschiebung der Atome verbunden denken wollte, so leuchtet doch ein, daß eine solche Erklärungsweise der langsamen Aenderung des Zustandes und des Maximums sich viel natürlicher mit der letzteren Annahme verbindet, daß die Atome gedreht werden, dieser Drehung aber die Molecularkräfte, ähnlich wie bei Biegungen, Torsionen u. s. w. entgegenwirken. Und betrachten wir die Erscheinungen der Elasticität in ihrem ganzen Umfange, so finden wir alsbald einen Umstand, welcher mit dem hier besprochenen die größte Aehnlichkeit hat und in seiner Art einzig dasteht. Es ist das die sogenannte elastische Nachwirkung, welche wir von W. Weber ¹⁾ durch seine Untersuchungen am Seidenfaden (die einzige gründliche Arbeit, welche über diesen Gegenstand existirt), kennen gelernt haben. Diese elastische Nachwirkung kommt wahrscheinlich allen Körpern zu, gewiß wenigstens auch dem Glase ²⁾. Das Charakteristische der Erscheinung kann so hingestellt werden:

Wird die Gestalt eines Körpers durch Einwirkung einer äußeren Kraft geändert, ohne daß jedoch die Grenzen der vollkommenen Elasticität überschritten werden, so wird der neue Gleichgewichtszustand innerhalb des Körpers und damit auch die Gestaltsveränderung erst mit der Zeit, eigentlich asymptotisch nach unendlich langer Zeit, erreicht. Im Anfange ist die Aenderung rasch, nachher wird sie sehr langsam. Die nachfolgende langsame Aenderung hat man mit dem Ausdrucke »elastische Nachwirkung« bezeichnet; doch ist dieselbe, wie auch W. Weber sagt, durch keine natürliche Gränze von der rascheren Aenderung geschieden, denn die Geschwindigkeit der Gestaltsänderung nimmt nirgends sprungweise ab. Hört die äußere Einwirkung auf, durch welche die Gestalt geändert ist, so durchläuft der Körper rückwärts dieselbe Reihe von Gestalten, nur mit umgekehrter Geschwindig-

1) *De fili bombycini et elastica*. Göttingue; 1841.

2) Diese Annalen Bd. 72, S. 393.

keit, und erreicht die alte Gestalt vollkommen erst nach längerer (unendlich langer) Zeit. Bei diesen wunderbaren Erscheinungen, wo die Geschwindigkeit der bewegten Massen in gar keinem Verhältnisse zu der bewegend Kraft steht, ist es, um ein Bild zu gebrauchen, als wenn der Widerstand in jedem Augenblicke freilich dem Angriffe gewachsen wäre, durch die Dauer desselben aber ermüdete, so daß er geradezu allmähig erlahmte.

Stellen wir bei einer graphischen Darstellung die Zeit von dem Augenblicke an gerechnet, wo die äußere Einwirkung beginnt, als Abscisse, die Größe der Gestaltsänderung als Ordinate vor, so werden den verschiedenen Körpern verschieden gestaltete Curven entsprechen. Während beim Stahl die Curve fast senkrecht aufsteigend und dann fast rechtwinklich mit beinahe scharfer Ecke umgebogen erscheinen wird, sehen wir die Weber'schen Curven für den Seidenfaden schon viel langsamer und schräger zu ihrer Asymptote sich erheben, und denken wir an die Eigenschaften eines gelben Wachstockes, dessen Lichter am Weihnachtsbaume immer wieder krumm werden, so ist kein Zweifel, daß dabei die besagte Curve nur eine mäßige Krümmung erfahre und nur ganz kurze Zeit eine steilere Lage besitze. Hiernach liegt in der Gestalt der Rückstandcurve Taf. II, Fig. 2, R welche sich in der Flasche b erzeugen würde, wenn kein Elektricitätsverlust stattfände, kein Hinderniß, die Molecularkräfte des Glases als die Ursache der langsamen Bildung des Rückstandes und dessen Gränzwertes zu betrachten, indem sie in diesem Falle wie bei der Elasticität irgend welchen Aenderungen im Gleichgewichtszustande eine nur langsame Realisirung verstatten.

Obschon zugestanden werden muß, daß dieser Erklärungsweise durch eine mechanische Gegenkraft im Glase am Ende nur eine Analogie zum Grunde liegt, so halten wir uns doch vorzugsweise gern an diese Vorstellungsweise, weil es so schwer fällt, für die eigenthümliche Erscheinung

scheinung der gegen die wirkenden Kräfte so langsamen Bewegung ein anderes Analogon aufzutreiben.

Bei dieser Art, das elektrische Moment des Glases sich vorzustellen, wo also im ganzen Innern desselben an jedem einzelnen Theilchen die Elektricitäten in eine andere Lage gebracht sind, erklärt sich nun auch, weshalb die dickere Tafel einen gröfseren Rückstand liefert. Wir müssen indessen, um das einzusehen, abermals eine kleine Digression machen.

Die Frage ist eigentlich folgende: Wir haben zwei isolirte dünne Metallplatten, welche, gleich stark mit den entgegengesetzten Elektricitäten geladen, parallel sich gegenüber stehen, jedoch in einer Entfernung, welche sehr gering ist gegen ihre eigenen Dimensionen. Wird die Wirkung dieser Platten auf die Punkte zwischen ihnen sehr abnehmen, wenn wir sie in eine gröfsere, z. B. in die doppelte, aber gegen ihre Dimensionen noch immer sehr kleine Entfernung bringen?

Hier, wo eine strikte Rechnung nicht zulässig scheint, sollen zur Beantwortung dieser Frage nur einige Andeutungen stehen.

Eine Kreisfläche vom Radius R werde mit Elektricität von überall gleicher Dichtigkeit geladen gedacht, so dafs auf der Flächeneinheit die Menge e sich befindet. In der im Mittelpunkte errichteten Normalen sey in der Entfernung a von der Ebene die Elektricitätsmenge e' und es werde die Wirkung, d. h. die elektromotorische Kraft der gesammten Elektricität der Kreisfläche auf diesen Punkt in der Richtung der Normalen gesucht.

Ein Flächen-Element, welches vom Mittelpunkt um r entfernt ist und mit irgend einem fest angenommenen Radius den Centriwinkel φ bildet, kann ausgedrückt werden durch $r dr d\varphi$ und die Wirkung desselben auf e' ohne Berücksichtigung des Zeichens ist

$$\frac{ee'ar dr d\varphi}{(a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Integrirt man zwischen den Gränzen $\varphi = 0$ und $\varphi = 2\pi$

und darauf zwischen den Gränzen $r = 0$ und $r = R$, so erhält man

$$2ee'a\pi\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + R^2}}\right).$$

Setzen wir $R = \infty$ so ergibt sich der vorauszusehende Satz, daß die gleichförmig mit Elektrizität geladene unendliche Ebene ein elektrisches Theilchen e' aufserhalb dieser Ebene in jeder (endlichen) Entfernung mit derselben Kraft $2\pi ee'$ anzieht oder abstößt.

Setzen wir R nicht unendlich, und $a = mR$, so geht die Formel über in

$$2ee'\pi \frac{\sqrt{m+1} - m}{\sqrt{m+1}}.$$

Um zu übersehen, welchen Einfluß dann die Entfernung des Punktes von der Kreisebene habe, wählen wir für m die Zahlenwerthe 0,1 und 0,01. Dann ergeben sich für die elektrische Wirkung die Zahlen

$$2ee'\pi \cdot 0,9046 \text{ und } 2ee'\pi \cdot 0,9901.$$

Wir sehen also, daß bei überhaupt gegen den Radius noch kleinen Entfernungen die Wirkung von der Entfernung fast unabhängig, nämlich in der 10fachen Entfernung nur um $\frac{1}{10}$ geringer ist als in der einfachen.

Umgekehrt können wir schliessen, daß die auf e' ausgeübte Wirkung der Hauptsache nach überhaupt nur von den nahe gelegenen Theilen der Ebene ausgeht. Lassen wir z. B. a ungeändert und setzen R das eine Mal gleich $10a$, das andere Mal $100a$, so bekommen wir für die zweite Wirkung ebenfalls kaum $\frac{1}{10}$ mehr als für die erste.

Durch diese Zahlenverhältnisse wird klar, daß, wenn die Elektrizitäten auf den Belegungen einer Franklin'schen Tafel gleichförmig vertheilt wären und nun, während ihre Quantität unverändert bleibt, die Glasdicke wüchse, auch das elektrische Moment wachsen müßte, weil jetzt auf mehr Glastheilchen gewirkt würde. Nun ist wirklich über einen grofsen Theil der Franklin'schen Tafel die Elektrizität fast gleichförmig verbreitet und wo sie das nicht

ist, nämlich nach dem Rande zu, wird man doch die Hauptwirkung auf die Punkte im Glase den benachbarten Stellen der Belegungen zuschreiben und die vorhin gemachten Schlüsse annähernd gelten lassen müssen ¹⁾. Daraus erkennen wir nicht nur, daß dem dickeren Glase bei gleicher Quantität der Ladung ein größeres elektrisches Moment zukommt als dem dünneren, sondern sogar, daß an den verschiedenen Stellen die Wirkung auf das Glas eine verschiedene seyn wird, so daß die Art, wie der durch das elektrische Moment hervorgebrachte verborgene Rückstand sich lagert, nicht so gar verschieden seyn kann von der Anordnung der Elektrizität, wie sie auf der Unterseite der Belegung von der disponiblen Ladung hervorgebracht wird.

Das was wir hier von der Franklin'schen Tafel gesagt haben, läßt sich aber seinem Wesen nach auf die gewöhnlichen Leidener Flaschen übertragen, wenn auch von der Gestalt herrührende Modificationen dabei nicht ausbleiben, und so scheint es, als ob das elektrische Moment, namentlich unter der Voraussetzung, daß die Veränderung im Glase sich nur auf seine einzelnen Theilchen erstreckt, die Erscheinungen vollständig erkläre.

11.

Jetzt wollen wir versuchen, aus den im vorigen §. gebildeten Begriffen eine Gleichung für die Rückstands-Curve zu construiren.

- 1) Es darf das, was wir hier betrachten, nicht verwechselt werden mit dem Umstande, daß, je dünner das Glas ist, desto stärker die Franklin'sche Tafel von derselben constanten Elektrizitätsquelle geladen wird. Hierbei, wie beim Condensator, gilt allerdings der Satz, daß, wenn die Entfernungen der Platten gegen ihre Größe sehr klein sind, ihre Ladungen sich fast umgekehrt verhalten wie ihre Entfernungen, ein Resultat, welches mit Clausius's Rechnung (diese Ann. Bd. 86, S. 198, X) in seiner verdienstvollen Abhandlung »über die Anordnung der Elektrizität auf einer einzelnen sehr dünnen Platte und auf den beiden Belegungen einer Franklin'schen Tafel«, sehr schön übereinstimmt. Das, was wir oben betrachteten, ist eine ganz andere Frage als die, wie viel Elektrizität bei verschiedenen Entfernungen auf den Platten sich befinden müsse, damit ihr Potential in Beziehung auf das Innere derselben überall genau dasselbe sey.

Die plötzlich der Flasche mitgetheilte Ladung Q_0 erzeugt ein elektrisches Moment m , welches mit der Zeit wächst und, zur Herstellung des Gleichgewichtes zwischen der Wirkung der Ladung Q_0 und einer im Glase entstandenen Gegenwirkung, einem Gränzwerte M entgegengeht, welcher dem Q_0 proportional ist. Soll das elektrische Moment in eine Rechnung gezogen werden, so handelt es sich um eine Einheit, nach welcher wir es messen. Wir wollen dasjenige Moment mit 1 bezeichnen, welches einen Rückstand gleich 1 fesselt, während letzterer eine Quantität von Elektrizität bezeichnet, und zwar dieselbe, nach welcher Q_0 gemessen ist. Da nun das Moment dem Rückstande proportional angenommen werden kann, so werden wir statt des Momentes ohne weiteres seine Wirkung, nämlich den Rückstand setzen dürfen, und sagen, daß die anfängliche Ladung Q_0 in der Zeit t den Rückstand r , erzeugte, welcher zur Herstellung des Gleichgewichtes bis R wachsen muß, so daß dann

$$R = p Q_0,$$

wobei p eine Constante bedeutet.

Wenn aber die anfängliche Ladung Q_0 durch die Luft beständig einen Verlust erleidet, so daß sie nach der Zeit t nur noch Q beträgt, so wird zur Zeit t der ideale Gleichgewichtszustand, welchem das Glas entgegenstrebt, nicht mehr den Rückstand $p Q_0$ bedingen, sondern nur den Rückstand $p Q$. Hat sich bis dahin ein wirklicher verborgener Rückstand r , gebildet, so ist also $p Q - r$, der Abstand vom Gleichgewichtszustande.

Dieser Abstand wird nun immer geringer, weshalb sein Differential negativ zu setzen ist, und die Geschwindigkeit in der Aenderung desselben, nämlich

$$\frac{d(p Q - r)}{dt},$$

ist offenbar desto größer, je größer der Abstand noch ist, und könnte irgend einer Function desselben proportional gesetzt werden.

Versucht man zu schreiben

$$\frac{d(p Q_t - r_t)}{dt} = -b(p Q_t - r_t)^a,$$

so findet man nach der Integration, daß sich die Constanten, von denen p einen aus der Beobachtung leicht erkennbaren nicht sehr weiten Spielraum hat, nicht so bestimmen lassen, daß den Beobachtungen hinreichend Genüge geschieht.

Es ist aber auch die Geschwindigkeit in der Aenderung des Abstandes vom Gleichgewichtszustande in der That nicht bloß eine Function dieses Abstandes, wie man aus folgendem Factum sieht, dessen Erwähnung bis auf diese Stelle aufgespart wurde.

Erzeugt man durch eine starke Ladung in ganz kurzer Zeit einen Rückstand r , ein anderes Mal durch eine schwache in langer Zeit denselben Rückstand r , so wird doch in beiden Fällen beim Entladen der Flasche derselbe Abstand vom Gleichgewichtszustande vorhanden seyn. Trotz dem verwandelt sich der in kurzer Zeit von starker Ladung hervorgebrachte Rückstand in kurzer Zeit in disponible Ladung, während der andere nur langsam zum Vorschein kommt. Man sieht also, daß die besagte Geschwindigkeit der Aenderung nicht allein davon abhängt, wie groß der Abstand vom Gleichgewichtszustand ist, sondern auch von der Zeit, während welcher der Zwang gedauert hat. Bei der Elasticität werden durch die Nachwirkung sich vielleicht ganz ähnliche Erscheinungen zeigen, wenn man die geeigneten Körper untersucht. Biegt man einen hölzernen Stab kurze Zeit stärker oder sehr lange Zeit wenig, so ist es gedenkbar, daß er, losgelassen, in beiden Fällen eine gleiche Abweichung von seiner vorigen Gestalt zeigt; die Zeit, welche dann nöthig ist, damit er sie vollständig wieder gewinnt, wird aber vielleicht sehr verschieden seyn ¹⁾.

- 1) Es darf hier nicht verschwiegen werden, daß VV. VVeber in seiner Untersuchung über die elastische Kraft des Seidenfadens die Curven der elastischen Nachwirkung durch eine Gleichung berechnet hat, welche der obigen ganz analog gebildet ist, und eine besondere Function der

Wir setzen deshalb auf die rechte Seite der Differentialgleichung noch eine Potenz t^n der Zeit, und haben dann, weil sich herausstellt, daß der Exponent n auf dieser Seite nothwendig gleich 1 seyn muß¹⁾,

$$\text{I.} \quad \frac{d(pQ_t - r_t)}{dt} = -bt^n(pQ_t - r_t).$$

Integriren wir zwischen den Gränzen $t=0$ und $t=t$, so erhalten wir, weil für $t=0$ auch $r_t=0$ und $Q_t=Q_0$ ist,

$$\text{II.} \quad \log \frac{pQ_t - r_t}{pQ_0} = -\frac{b}{m+1} t^{m+1}$$

und

$$\text{III.} \quad r_t = p \left(Q_t - Q_0 e^{-\frac{b}{m+1} t^{m+1}} \right).$$

Dies wäre also die Gleichung, welche, wenn die Voraussetzungen richtig sind, aus denen sie hervorgegangen, bei passender Wahl der Constanten p , b und m Rückstände muß berechnen lassen, welche mit den beobachteten, wie sie im §. 4, Tab. a'' , b'' und c'' aufgezeichnet sind, eine hinreichende Uebereinstimmung zeigen.

Es ist nun nicht schwer, sich Näherungswerthe für diese Constanten zu verschaffen, namentlich zunächst für p . Hat nämlich der Versuch schon längere Zeit gedauert, so wird der Gleichgewichtszustand nahezu erreicht, d. h. der Rückstand nicht mehr weit von der Gränze entfernt seyn,

Zeit nicht enthält. Daß, was oben $pQ_t - r_t$ genannt ist, bezeichnet er bloß durch x und hat danach

$$dx = -bx^m dt.$$

Ein Versuch, die Curven aus der Gleichung

$$dx = -bxt^m dt$$

zu berechnen, gab mir nicht so gute Resultate; doch wäre es möglich, daß diese sich besserten, wenn die Constanten auf andere Weise bestimmt würden. Vor Wiederholung der Rechnung wage ich nicht darüber zu entscheiden.

- 1) Es führt zu weit, das hier auseinander zu setzen, denn es interessirt uns ja nicht, zu wissen, welche Gleichungen nicht passen.

welche er bei der noch vorhandenen Ladung erreichen kann. Dann wird also schon fast

$$r_i = p Q_i$$

und p nur wenig größer als $\frac{r_i}{Q_i}$ seyn. So liefert z. B. die letzte Aufzeichnung in der Tab. b''

$$\frac{r_i}{Q_i} = \frac{0,4888}{1,0154}$$

und wir können ziemlich sicher seyn, daß wir nicht gar viel irren, wenn wir $p=0,5$ setzen. Nun ergibt die Gleichung II, daß wenn t' und t'' zwei der beobachteten Zeiten sind und die zugehörigen Q_i und r_i mit denselben Accenten geschrieben werden, dann

$$m = \frac{\log \left\{ \frac{\log \left(\frac{p Q_{i'} - r_{i'}}{p Q_0} \right)}{\log \left(\frac{p Q_{i''} - r_{i''}}{p Q_0} \right)} \right\}}{\log t' - \log t''} - 1$$

und

$$b = - \frac{m+1}{t^{m+1}} \log. \text{nat} \left(\frac{p Q_i - r_i}{p Q_0} \right)$$

seyn werde, so daß also aus zwei passend gewählten Beobachtungen diese Größen unmittelbar sich annäherungsweise ergeben.

Mit diesen gewonnenen genäherten Werthen der Constanten p , b und m berechnet man sich die einzelnen r_i , welche dann schon ziemlich genau mit den beobachteten übereinstimmen werden, und bestimmt die Correction der Constanten nach der Methode der kleinsten Quadrate.

Auf diese Art erhält man aus den Beobachtungen der Tab. a'' die Werthe

$$p=0,4289; b=0,0397; m=-0,5744.$$

Untersucht man die Werthe derselben Constanten für die Tab. b'' und c'' , so bemerkt man bald, daß die Constante m , also die in die Gleichung eingeführte Function der Zeit für die drei beobachteten Curven, welche sich auf eine gewöhnliche cylindrische Flasche mit Stanniolbe-

legungen, eine mit Quecksilber gefüllte Flasche mit engem Halse und eine Franklin'sche Tafel beziehen, so geringe Verschiedenheiten zeigt, daß es offenbar eine für alle diese Ladungsapparate gemeinsame Zahl ist. Bestimmen wir also für den obigen Werth von m die beiden anderen Constanten, welche zu den Beobachtungen der Tabellen b'' und c'' gehören, so bekommen wir für die Berechnung der Rückstände, wie sie in den drei Tabellen a'' , b'' und c'' verzeichnet sind, die drei Gleichungen

$$r_t = 0,4289 \left[Q_t - Q_0 e^{-\frac{0,0397}{0,4255} \cdot t^{0,4255}} \right],$$

$$r_t = 0,5794 \left[Q_t - Q_0 e^{-\frac{0,02237}{0,4255} \cdot t^{0,4255}} \right],$$

$$r_t = 0,2562 \left[Q_t - Q_0 e^{-\frac{0,0446}{0,4255} \cdot t^{0,4255}} \right],$$

in denen für Q_t die den Zeiten t entsprechenden Werthe aus den Tabellen zu entnehmen sind. In den folgenden Tabellen a''' , b''' und c''' sieht man die so berechneten r_t mit den beobachteten verglichen.

Tab. a''' .

t	r_t berech- net	r_t beob- achtet
0	0	0
18	0,0556	0,0596
50	0,0782	0,0813
110	0,0988	0,0981
160	0,1090	0,1084
215	0,1169	0,1153
265	0,1224	0,1214
330	0,1278	0,1263
382	0,1313	0,1303
450	0,1349	0,1351
523	0,1380	0,1396
577	0,1398	0,1401
680	0,1426	0,1421

Tab. b''' .

t	r_t berech- net	r_t beob- achtet
0	0	0
5	0,0872	0,0839
24	0,1619	0,1707
59	0,2180	0,2234
91	0,2544	0,2571
114	0,2738	0,2727
144	0,2949	0,2924
188	0,3199	0,3137
230	0,3379	0,3305
282	0,3592	0,3469
341	0,3782	0,3630
406	0,3947	0,3793
485	0,4119	0,3948
573	0,4273	0,4101
683	0,4432	0,4240
804	0,4569	0,4380
935	0,4688	0,4522
1105	0,4809	0,4637
1285	0,4902	0,4759
1505	0,4983	0,4862
1770	0,5051	0,4943
2070	0,5091	0,5019
2430	0,5108	0,5074
2870	0,5099	0,5099
3420	0,5033	0,5094
4110	0,4961	0,5024
4980	0,4839	0,4919
5370	0,4749	0,4888

Tab. c''' .

t	r_t berech- net	r_t beob- achtet
0	0	0
6	0,0285	0,0288
43	0,0567	0,0607
71	0,0661	0,0661
133	0,0783	0,0781
193	0,0855	0,0849
256	0,0907	0,0925
328	0,0971	0,0954
423	0,0990	0,0990
531	0,1016	0,1021
620	0,1032	0,1033
715	0,1045	0,1043
864	0,1052	0,1060

Während die berechneten Werthe bei a''' und c''' bald gröfser bald kleiner als die beobachteten sind, sehen wir bei b''' eine mehr regelmässige Abweichung und die berechnete Curve überhaupt ein wenig mehr gekrümmt als die beobachtete. Da die Uebereinstimmung nicht besser wird, wenn man für die Berechnung dieser Curve solche Werthe der Constanten zum Grunde legt, welche alle drei nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt sind, so ist daraus zu schliessen, dafs die beobachtete Curve Fehler enthält. Denn diese ist nicht unmittelbar beobachtet, sondern erst im §. 4 dadurch entstanden, dafs der Elektricitätsverlust in Rechnung gebracht wurde, und es ist klar, dafs hierbei um so weniger sicher gegangen wird, je länger die

Beobachtung dauerte. Im betreffenden Falle war aber die erste Ladung der Flasche anderthalb Stunden lang beobachtet und das Aufsuchen der Rückstände hatte 20 Stunden gedauert, so daß eine solche Uebereinstimmung, wie sie sich zwischen Rechnung und Beobachtung hier noch zeigt, überhaupt zu bewundern ist, und die Sicherheit der Methode in ein helles Licht stellt.

12.

Fragen wir nach der Bedeutung der drei Constanten p , b und m , so wird b im Zusammenhange mit dem Widerstande stehen, welchen das Glas der äußeren Einwirkung der Elektricitäten entgegensetzt und dessen GröÙe bei verschiedenen Glassorten auch verschieden seyn kann, während m sich auf die Zeit bezieht, in welcher dieser Widerstand nach und nach überwunden wird. Gerade der Umstand, daß m bei den verschiedenen Gläsern der verschieden gestalteten Ladungsapparate dieselbe GröÙe hat, scheint dafür zu sprechen, daß die Function der Zeit, welche wenig verschieden von der Quadratwurzel ist, mit Recht in die Formel eingeführt wurde und daß der Widerstand ein mechanischer sey, welcher von den Molecularkräften an jedem einzelnen Glastheilchen ausgeübt wird nach Analogie der elastischen Nachwirkung. Die Zahl p giebt an, welcher Theil der vorhandenen Ladung von dem elektrischen Momente des Glases gefesselt werden könnte, wenn der Gleichgewichtszustand erreicht wäre. Die GröÙe von p hängt also von b ab, zugleich aber auch von der Glasdicke. Da die Art der Abhängigkeit des p von b noch unbekannt ist, scheint es auch vorläufig noch nicht möglich, die Gleichung des Rückstandes mit bloß zwei Constanten zu schreiben.

Mag man nun über diese Constanten selbst, wie auch über das Ganze, was hier ein elektrisches Moment genannt wird, denken, was man will, so viel steht wenigstens fest, daß man den elektrischen Rückstand durch die Gleichung III berechnen kann. Jetzt ist man auch im Stande für eine jede bestimmte Flasche, deren Constante man nach §. 11 bestimmt hat, eine Gleichung der disponiblen Ladung aufzustellen,

welche, wenn sie auch das Gesetz in seiner strengen Form nicht ausspricht, doch eine für die Praxis hinreichende Näherung gewährt. Die Praxis kann nämlich verlangen, daß die disponible Ladung berechnet werde, welche eine bestimmte Zeit, nachdem die Flasche mit einer bekannten Ladung versehen war, zu irgend einem Zwecke verbraucht wurde, ohne direct beobachtet werden zu können. Umgekehrt kann sie verlangen, daß aus der Kenntniß einer disponiblen Ladung die GröÙe der ursprünglichen Ladung abgeleitet werde, welche vor einer gewissen Zeit der Flasche plötzlich mitgetheilt wurde. Es soll die Gleichung mit Berücksichtigung eines bestimmten Beispiels abgeleitet werden, zu welchem die Beobachtungen der Flasche a in den Tabellen a , a' , a'' und a''' das Material abgeben.

Nach der Berechnung dieser Beobachtungen haben wir (Siehe Tab. a''' und in Anlage III die Berechnung der Tab. a'')

$$Q_0 = 0,4742; V = 0,0409; F = 228,086; \varphi = 30,767; \\ T = 680; p = 0,4289; b = 0,0397; m = -0,5744.$$

Hiebei ist T die Zeit, nach welcher die Flasche zuerst entladen wurde.

Die Linie v_n welche Taf. II. Fig. 2 die Curve des Elektricitätsverlustes vorstellt, weicht, obschon die Beobachtung anderthalb Stunden gedauert hat, nicht gar sehr von einer Geraden ab. Viel weniger wird noch bei einer Beobachtung von etwa 11 Minuten, wie sie hier vorliegt, die Curve des Elektricitätsverlustes von einer geraden Linie abweichen, so daß wir wenig irren, wenn wir den Verlust der Zeit proportional setzen.

Wenn der Verlust während der ganzen Operation V war, so ist er bis zur Zeit T , wo die Flasche zuerst entladen wurde,

$$V \cdot \frac{F}{F + \varphi}$$

und damit ist dann angenähert

$$v_t = \frac{t}{T} \cdot V \cdot \frac{F}{F + \varphi}.$$

Wäre bei einem anderen Versuche die anfängliche Ladung nicht Q_0 gewesen, sondern Q'_0 , so hätte sich, wenn

übrigens die Luft von derselben Beschaffenheit gewesen wäre,

$$V'_i = \frac{t}{T} \cdot V \cdot \frac{F}{F+\varphi} \cdot \frac{Q'_0}{Q_0}$$

herausgestellt. Ist aber die Beschaffenheit der Luft hinsichtlich des Elektricitätsverlustes jetzt eine andere, so bedarf der Ausdruck einer Correction. Zu dem Ende mittelt man durch Hülfe der Torsionswage den Elektricitätsverlust aus, welchen ein isolirter frei hingestellter Körper erleidet. Ist dieser bei der Originalbeobachtung der Flasche, auf welche sich die Tabellen a , a' und die nicht accentuirten Buchstaben Q_0 , V , F , φ beziehen, gleich μ gefunden, bei dem jetzt in Rede stehenden zweiten Versuche gleich μ' , so ist

$$v'_i = \frac{\mu'}{\mu} \cdot \frac{t}{T} \cdot V \cdot \frac{F}{F+\varphi} \cdot \frac{Q'_0}{Q_0}.$$

Es ist nun ferner

$$L'_i = Q'_0 - r'_i - v'_i$$

also

$$L'_i = Q'_0 - p \left(Q'_i - Q'_0 e^{-\frac{b}{m+1} t^{m+1}} \right) - v'_i.$$

Setzen wir für Q'_i seinen Werth $Q'_0 - v'_i$, und für v'_i den eben gefundenen Ausdruck, so erhalten wir

$$\begin{aligned} \text{IV. } L'_i &= Q'_0 \left[1 - p \left(1 - e^{-\frac{b}{m+1} t^{m+1}} \right) \right] \\ &\quad - (1-p) \frac{\mu'}{\mu} \frac{t}{T} V \cdot \frac{F}{F+\varphi} \cdot \frac{1}{Q_0}. \end{aligned}$$

Ist also die ursprünglich mitgetheilte Ladung Q'_0 bekannt, so findet sich L'_i , oder ist letzteres gegeben, so haben wir damit auch Q'_0 .

Um zu zeigen, wie weit diese Formel sich an die Beobachtung anschliesst, mag die Tabelle a des §. 1 aus ihr berechnet werden, wobei natürlich $\mu' = \mu$ und $Q'_0 = Q_0$ zu setzen ist.

Tab. α^{IV} .

t	L_t berech- net	L_t beob- achtet
0	0,4742	0,4742
18	0,4184	0,4133
50	0,3939	0,3896
110	0,3700	0,3692
160	0,3571	0,3516
215	0,3462	0,3461
265	0,3381	0,3373
330	0,3291	0,3290
382	0,3230	0,3223
450	0,3158	0,3141
523	0,3090	0,3080
577	0,3044	0,3029
680	0,2964	0,2951

Die Abweichung ist so gering, daß man in dieser Annäherungs-Formel einen ganz geeigneten Substituten für die wahre Gleichung der disponiblen Ladung, welche nicht aufgesucht worden ist, erblicken kann.

Handelt es sich bei practischen Anwendungen nur um wenige Minuten, und erleidet die Flasche überhaupt nur wenig Verlust, so wird es vollkommen ausreichen, die Gleichung

$$L_t = p Q_0 \left(1 - e^{-\frac{b}{m+1} t^{m+1}} \right)$$

bei etwaigen Reductionen zu benutzen.

Es wäre nun noch übrig, die Curven der wiederauf-tretenden Rückstände ebenfalls durch die Rechnung zu bestimmen. Es sind solche Versuche gemacht, und die aus denselben Principien abgeleiteten Formeln genügen vollkommen ihrem Zwecke. Da aber die Praxis nicht leicht eine Anwendung von diesen Rechnungen machen wird, so sollen sie hier nicht weiter angeführt werden, da der kleinliche Gegenstand schon Raum genug in Anspruch genommen hat.

Anhang I.

Eine Batterie von fünf Flaschen Fig. 1, Taf. II, jede von fast einem Quadratfuß Belegung, stand in ihrem Kasten. In einiger Entfernung davon befand sich die einzelne Flasche *F*, welche untersucht werden sollte, die äußeren Belegungen dieser 6 Flaschen waren sorgfältig mit einander verbunden und ein Draht führte von ihnen in die nasse Erde des Gartens. Um die einzelne Flasche durch die Batterie zu laden, war an einem Hebel *a* ein dicker Draht *b* mit Schellack befestigt, an welchen zwei dünnere und federnde Drähte *c* und *d* gelöthet waren, die beim Herabfallen des Hebels auf ganz kurze Zeit die innere Belegung der Batterie und den Knopf der einzelnen Flasche verbanden. Zu dem mit flacher Aushöhlung versehenen Knopfe dieser Flasche führte der 3 Fuß lange Zuleitungsdraht des Sinuselektrometers *S*. So lange keine Elektrizität in der Flasche ist, steht die Magnetnadel des Instrumentes im Meridian unter spitzem Winkel α zu einem drehbaren Arme von Metall. Im Augenblicke, wo man die Flasche durch die Batterie ladet, würde die Elektrizität in die Nadel und den Arm mit überfließen und die erstere, gewaltsam vom Arme abgestoßen, in heftige Oscillationen gerathen, und bevor diese sich beruhigt hätten und durch Drehen des Armes wieder der Beobachtungswinkel α hervorgebracht wäre, würde gerade die wichtigste Zeit für die Beobachtung verloren gegangen seyn. Es kommt also darauf an, das Elektrometer vor der Elektrisirung der Flasche in einen solchen Zustand zu bringen, daß von dem Momente, wo der fallende Hebel die Ladung bewirkt, auch die Beobachtung beginnen kann. Dieß hat keine Schwierigkeit, sobald man den Winkel φ voraus weiß, um welchen die Magnetnadel aus dem Meridian durch die elektrische Abstossung abgelenkt werden wird, wenn sie mit dem abstossenden Arm den Winkel α machen soll, d. h. also, sobald man die Ladung, welche die Flasche bekommen wird, schon weiß. Ist also (Fig. 1) *mn* die Lage der Magnetnadel im Meridian, *ab* die Visirlinie, welche durch

Hülfe von Spiegelung rechtwinklich gegen die Nadel gestellt ist, pq der mit dieser Visirlinie fest verbundene abstossende Arm, so dreht man die Visirlinie und mit ihr also auch den Arm um den Winkel φ und lenkt durch einen daneben angebrachten galvanischen Strom die Nadel so weit ab, bis sie wieder einspielt, d. h. rechtwinklich zur Visirlinie steht. Zu dem Ende durchläuft der Strom von der Kette K aus das neben dem Elektrometer angebrachte Multiplicatorgewinde M und wird durch den Rheostaten oder das Rheochord R in der nöthigen Weise moderirt. In dem Augenblicke, wo durch den Fall des Hebels die Elektrizität von der Batterie auf die einzelne Flasche mit übertragen wird, öffnet zugleich der Schellackzapfen e die Kette. Der dazu erforderliche kleine Mechanismus ist sehr einfach. Der eine Pol der Kette führt zu dem auf einem Brettchen befestigten starken Drahte h , der andere zu dem (in der Zeichnung nach vorn hin) federnden Drahte g , welcher durch eine passende Winkelbiegung zum Schliesssen der Kette nur hinter h gehängt zu werden braucht. Indem dann der Schellackzapfen das Ende f des Drahtes g trifft, unterbricht er sogleich den Strom, dessen ablenkende Kraft nun durch die abstossende Kraft der in das Elektrometer getretenen Elektrizität ersetzt wird.

Um die Ladung vorauszubestimmen, welche die zu prüfende Flasche von der Batterie bekommen wird, muß man sich vorher schon die Kenntniss verschafft haben, in welchem Verhältnisse die Elektrizität sich zwischen diesen Körpern theilt. Im Anhang II wird ein besseres Mittel zur Bestimmung dieses Verhältnisses angegeben werden; hier zunächst möge folgendes dienen, welches aus Gründen, die sich dort ergeben, allemal dann eine hinreichende Genauigkeit liefert, wenn die Gesamtbelegung der Batterie groß gegen die Belegung der einzelnen Flasche ist. Es besteht einfach in der Bestimmung der Elektrizitätsmenge, welche der Batterie durch die Flasche entzogen wird.

Es war also vor der Anstellung des Versuches, den zu

beschreiben wir angefangen haben, das Sinuselektrometer mit der Batterie von 5 Flaschen in Verbindung gesetzt und diese geladen. Nachdem durch Drehen am Gehäuse der Nadel das Instrument eingestellt war, wurde es ein klein wenig zurück, d. h. auf einen etwas zu kleinen Winkel gestellt, dieser Winkel von $17^{\circ} 52'$ notirt, und nun gewartet, bis durch den allmähigen Elektricitätsverlust an die Luft das Spiegelbild der Marke sich gerade einstellte. In diesem Augenblicke wurde der Fall des Hebels durch Losziehen eines mit einem Faden versehenen Hakens i bewirkt; ein Theil der Elektricität der Batterie floß in die einzelne Flasche über, und das mit möglichst geringem Zeitverluste, etwa in der Zeit von 15 Sekunden, wieder eingestellte Elektrometer zeigte eine Ablenkung der Nadel von $12^{\circ} 13'$. Den Quadratwurzeln der Sinus dieser Winkel sind die Ladungen Q und Q' der Batterie vor und nach der Ladung der einzelnen Flasche proportional. In die letztere ist die Menge $Q - Q'$ übergeflossen und das Verhältniß dieser Menge zu der in der Batterie vorher befindlichen, also der Quotient $\frac{Q - Q'}{Q}$, berechnet sich zu 0,1695. Dieses Verfahren wurde öfter wiederholt und zeigte folgende Resultate:

Ablenkung der Magnet- nadel		$\frac{Q - Q'}{Q}$
für Q	für Q'	
$17^{\circ} 52'$	$12^{\circ} 13'$	0,1695
12 13	8 29	0,1651
8 29	5 57	0,1617
24 57	17 3	0,1662
11 55	8 17	0,1647
Mittel		0,1654

Im Anhange II werden die Gründe besprochen werden, weshalb die einzelnen Bestimmungen des Quotienten noch fast um 5 Procent variiren. Da aber nach der dort angegebenen zuverlässigen Methode dieser Quotient sich sehr nahe

nahe ebenso, nämlich gleich 0,1647 herausstellte, so mag also

$$\frac{Q - Q'}{Q} = 0,165$$

gesetzt werden.

Jetzt wissen wir also, daß, wenn die Batterie vorher die Ladung Q hat, diese im Momente, wo die einzelne Flasche durch sie geladen wird, auf

$$Q' = Q (1 - 0,165) = 0,835 Q$$

herabsinkt. Zugleich aber wissen wir, daß die einzelne Flasche in dem Momente der Uebertragung der Elektrizität dieselbe Spannung am Knopfe zeigen wird, wie die Batterie, daß also das Elektrometer in diesem Augenblicke dieselbe Angabe machen würde, es möchte mit der Batterie verbunden werden oder mit der einzelnen Flasche, denn die Menge von Elektrizität, welche dieß Instrument der einzelnen Flasche entzieht, ist noch immer verschwindend klein gegen die Menge der letzteren.

Es wurde also, um den Versuch selbst wieder aufzunehmen, folgendermaßen verfahren.

Ein zweites Sinuselektrometer S' wurde neben die Batterie, jedoch in solcher Entfernung vom ersten S aufgestellt, daß ihre Nadeln sich nicht irritirten. Beide wurden zunächst mit der Batterie von 5 Flaschen verbunden und diese geladen. Durch Hülfe eines zweiten Beobachters wurden beide Instrumente in demselben Augenblicke eingestellt. Dabei zeigte das Elektrometer S den Ablenkungswinkel $18^\circ 49'$. Auf den Ablenkungswinkel des Instrumentes S' kam es nicht an, denn dasselbe sollte nur unverrückt so stehen bleiben, wie es eingestellt war, um bei abermaliger Ladung der Batterie den Moment anzugeben, bei welchem das Elektrometer S , wenn es mit ihr verbunden wäre, den Ablenkungswinkel von $18^\circ 49'$, d. h. also eine Ladung der Batterie von $Q = \sqrt{\sin 18^\circ 49'}$ zeigen würde.

Nachdem diese Vorbereitungen getroffen waren, Alles aber entladen, wurde am anderen Tage das Instrument S

mit der einzelnen Flasche verbunden und durch den galvanischen Strom auf 13° abgelenkt. Das ist nämlich der Winkel, zu dem es abgelenkt werden würde, wenn die Ladung $Q = \sqrt{\sin 18^\circ 49'}$ der Batterie sich über die einzelne Flasche mit verbreitet und der aus der Gleichung

$$Q' = \sqrt{\sin x} = 0,835 \sqrt{\sin 18^\circ 49'}$$

gewonnen wird.

Nun wurde die Batterie wieder geladen, die Ladung welche zu groß ausgefallen war, durch Berührung mit einem trockenen Stäbchen von Tannenholz so lange geschwächt, bis das Elektrometer S' fast einspielte und dann abgewartet bis durch den Elektrizitätsverlust die frühere Ladung genau eintrat. In diesem Augenblicke, welcher vom zweiten Beobachter angegeben wurde, ersetzte der fallende Hebel die ablenkende Kraft des galvanischen Stromes durch die in das Elektrometer S überfließende Elektrizität; die Nadel machte eine kaum merkliche Zuckung, bewegte sich aber nun doch so rasch gegen den Meridian hin, daß ein neues genaues Einstellen erst nach 18 Sekunden gelang ¹⁾, und den Ablenkungswinkel $9^\circ 50'$ ablesen liefs.

Ein zweiter Beobachter notirte die Zeiten, sowohl der ersten Ladung der Flasche als auch der Momente, wo jedesmal das Sinuselektrometer wieder eingestellt war und schrieb die ihm dictirten Ablenkungswinkel zu den einzelnen Zeiten. So entstand die folgende Beobachtungsreihe, welche in der dritten mit *Ladung* überschriebenen Reihe die Quadratwurzeln aus den Sinus der Ablenkungswinkel enthält.

- 1) Diesmal war Ungeschicklichkeit der Grund, daß so viele Zeit verstrich. Bei anderen Beobachtungen ist das nächste Einstellen häufig nach 5 Sekunden schon gelungen.

Zeit nach d. Ladung in Sekunden.	Ablenkungs- winkel des Sinus-Elek- trometers.	Ladung.
0	13° 0'	0,4742
18	9 50	0,4133
50	8 44	0,3896
110	7 50	0,3692
160	7 17	0,3561
215	6 53	0,3461
265	6 32	0,3373
330	6 13	0,3290
382	5 58	0,3223
450	5 40	0,3141
523	5 27	0,3080
577	5 16	0,3029
680	5 0	0,2951

Anhang II.

Beschreibung und Gebrauch des Multipliers.

Ein sehr starker kupferner Dämpfer von elliptischer Form wurde mit 1000 Windungen eines gut mit Seide besponnenen und mit Collodium bestrichenen etwa 0,25 Millimeter starken Kupferdrahtes umgeben, wobei noch jede einzelne Lage der Windungen stark mit Collodium getränkt wurde. Die Enden des Drahtes führten zu Klemmschrauben, welche mit Schellack in dasselbe Brett eingekittet waren, welches den Multiplikator trug. In die 8,5 Centm. lange und 3,3 Centm. hohe elliptische Oeffnung des Dämpfers wurde mittelst Conconfaden, Bügel und Gabel ein recht kräftiger cylindrischer Stahlmagnet von 6 Centm. Länge und 1 Centm. Durchmesser gehängt. Die Gabel, an welcher der Magnet hing, trug einen Spiegel, damit man nach Magnetometer-Art beobachten könne. Das Ganze befand sich in einem gut schliessenden mit Glasfenster versehenen Gehäuse, damit nicht durch Luftströmungen die Nadel beunruhigt würde. Die Dämpfung war so stark, dass Oscillationen von einem Grade Elongation in einer Minute beruhigt wurden.

Beim Gebrauche für unsere Zwecke verbindet man durch einen Zwischendraht das eine Ende des Multiplacitor drahtes

mit der äußeren Belegung der Batterie, welche außerdem noch sehr gut nach der Erde abgeleitet ist. Mit dem Drahte eines ähnlichen Hebels, wie er Taf. II. Fig. 1, a abgebildet ist, verbindet man das andere Ende des Multiplicatorgewindes, schaltet aber dazwischen ein mit Wasser gefülltes nicht zu kurzes Glasrohr ein. Durch den Fall des Hebels wird dann die Entladung bewirkt, welche den Magneten ablenkt. Man kann die Fallgeschwindigkeit durch die Fallhöhe, oder auch durch ein Laufgewicht reguliren, wenn man diesem entgegen die Anspannung von Schnüren aus vulcanisirtem Kautschuck wirken läßt. Ohne Zweifel gewinnt man noch an Stabilität der Aussagen dieses Instrumentes, wenn man den Magneten schwerer nimmt, was dann aber eine geringe Vergrößerung der übrigen Dimensionen zur Folge hat. Uebrigens ist auch schon bei diesen Dimensionen der Multiplicator ein ganz vortreffliches Elektrometer für Entladungsströme, wenn man nur bei ganz starken Ladungen für die nöthige Verzögerung sorgt.

Eines solchen Apparates kann man sich bedienen, wenn man das Verhältniß, in welchem sich die Elektrizität zwischen zwei Leidener Flaschen theilt, genau auszumitteln nöthig hat. Man verbindet ein Sinuselektrometer mit der einen Flasche allein und entladet sie bei einer gewissen Anzeige desselben durch den Multiplicator. Dann verbindet man mit dieser Flasche auch die zweite und entladet, wenn das Sinuselektrometer wieder seine vorige Anzeige macht, beide Flaschen zugleich. Ist im ersten Falle die Nadel des Multiplicators um den Winkel α abgelenkt, im zweiten Falle um $\alpha + \beta$, so verhalten sich die Elektrizitätsmengen der beiden Flaschen bei gleicher Spannung am Knopfe wie α zu β . In der Regel wird man statt der Winkel α und β bloß die Anzahl der im Fernrohr zur Ablenkung gekommenen Scalentheile nehmen können:

Im Anhang I ist eine Methode beschrieben, durch das Sinus-Elektrometer allein das Verhältniß aufzusuchen, in welchem sich die Ladung zwischen zwei Flaschen theilt. Dieses Verfahren leidet an dem Uebelstande, daß die La-

dung der Batterie veränderlich ist. Wird nun ein Theil der Ladung auf die einzelne Flasche übertragen, so vergeht, bevor das Elektrometer zum Ablesen wieder eingestellt wird, einige Zeit. Im Anfange scheint deswegen der an die einzelne Flasche abgegebene Theil zu groß, weil während dieser Zeit neben dem Elektricitäts-Verluste an die Luft auch noch ein Rückstand sich gebildet hat; späterhin erscheint er zu klein, weil der schon gebildete Rückstand von der nach dem öfteren Entziehen noch gebliebenen Ladung nicht gefesselt werden kann, sondern bis zum Einstellen des Elektrometers theilweise hervortritt. Von solchen Uebelständen ist die andere Methode frei. Um ihre Genauigkeit zu zeigen, gebe ich die Zahlen an, welche das Verhältniß der Vertheilung zwischen der in dem Anhang I besprochenen einen Flasche F und der Batterie B von 5 Flaschen bestimmen.

Ablenkung der Multiplicatornadel in Scalentheilen

	durch B allein.	durch B und F verbunden.
	66,3	79,5
	66,5	79,6
	66,5	79,4
	66,2	79,2
Mittel	66,4.	79,8
		Mittel 79,5.

Nehmen wir $66,4 = Q'$ und $79,5 = Q$, so ist dann

$$\frac{Q - Q'}{Q} = \frac{13,1}{79,5} = 0,1647.$$

Anhang III.

Für die Berechnung, wie der Elektricitäts-Verlust an die Luft sich auf die einzelnen Zeiten der Beobachtung vertheilt, genügen einige Andeutungen, welche sich auf die Berechnung der Tab. α'' beziehen sollen.

Der Verlust V ist die Differenz zwischen der ursprünglichen Ladung und dem, was wissentlich entfernt worden ist. Die ursprüngliche Ladung war nach Tab. α gleich 0,4742; bei der ersten Entladung ist entfernt 0,2951; dann

ist nach Tab. α' an Rückständen aufgesammelt 0,1807, zu denen wir, als wahrscheinlich noch in der Flasche vorhanden aber nicht sammelbar, auf gut Glück den letzten Rückstand 0,0075 hinzurechnen. Dann ist

$$V = 0,4742 - (0,2951 + 0,1382) = 0,0409.$$

Der Flächeninhalt F unter der Curve der disponiblen Ladung ist

$$\begin{aligned} F &= f_1 + f_2 + f_3 + \dots \\ &= \frac{1}{2} [(0,4742 + 0,4133) 18 + (0,4133 + 0,3896) (50 - 18) + \dots] \\ &= 228,086. \end{aligned}$$

Der Inhalt φ der von den Curven der gesammelten Rückstände begrenzten Flächen ist

$$\begin{aligned} \varphi &= f' + f'' + f''' + \dots \\ &= \frac{1}{2} [0,0443 \cdot 65 + 0,0166 \cdot (153 - 65) + \dots] \\ &= 30,767. \end{aligned}$$

Die Constante für den Electricitätsverlust ist also

$$\alpha = \frac{V}{F + \varphi} = \frac{0,0409}{258,853} = 0,000158.$$

Alles Uebrige ergibt sich von selbst.

Marburg im Oct. 1853.

III. Ueber die beim Ausströmen der Luft entstehenden Töne; von C. Sondhaufs.

(Schluss von S. 147)

10. Indem ich nun zur nähern Betrachtung der Entstehung der besprochenen Töne übergehe, ist zunächst zu untersuchen, welcher Körper schwingt und dadurch die Töne erzeugt. Dafs die Töne nicht durch die Vibration der obern Platten, gegen welche der Luftstrom stöfst, entstehen, darf als entschieden angesehen werden; denn abgesehen davon, dafs diese Platten aus einem unelastischen Körper, nämlich aus Blei gefertigt sind, und dafs man die-

selben mit den Fingern festhalten kann, ohne die Entstehung und Fortdauer des Tones zu hindern, ist auch die Höhe des Tones von der Gröfse und dem Gewichte der Platten gänzlich unabhängig, so wie es auch gleichgültig ist, aus welcher Substanz die Platten angefertigt sind. Ein so schwacher Luftstrom, als in den meisten Fällen angewendet wurde und zur Erzeugung der Töne erforderlich ist, dürfte erfahrungsgemäfs auch gar nicht im Stande seyn, eine von den angewendeten Platten, auch wenn sie elastisch wäre, wie die Zunge einer Orgelpfeife, in Vibration zu versetzen. Wenn demnach nur die Annahme übrig bleibt, dafs die Luft selbst der tönende Körper ist, so ist es doch nicht möglich, ein durch eine feste Hülle begränztes Luftvolumen nachzuweisen, welches durch den Luftstrom, ähnlich wie die Luftsäule in einer Labialpfeife, in stehende Schwingungen versetzt würde.

Die zwischen der Deckelplatte, welche die Ausflufsöffnung enthält, und der obern beweglichen Platte befindliche Luft kann füglich nicht als ein begränztes Luftvolumen angesehen werden, welches stehende Schwingungen annimmt. Hierfür spricht zunächst der Umstand, dafs die Höhe des Tones nur von dem Luftdruck und der Plattendistanz, aber nicht von der Gröfse und Gestalt der Platten abhängt, und dafs der Ton ungeändert bleibt, wenn man die zwischen den Platten liegende Luftschicht dadurch partiell begränzt, dafs man den Finger oder einen gebogenen Blechstreif von der einen Seite nähert ¹⁾. Der Ton entsteht aber auch unter Umständen, bei welchen von einem begränzten Luftvolumen oberhalb der Ausflufsöffnung gar nicht die Rede seyn kann, z. B. wenn man den Luftstrom gegen eine kleine runde Scheibe von der Gröfse der Ausflufsöffnung (Taf. II. Fig. 10) oder gegen eine aus dünnem Draht zusammengebogene Oehse von derselben Gröfse stofsen läfst (Taf. II. Fig. 11). Ueberdies ist mir auch keine Beobachtung bekannt geworden, durch welche dargethan worden wäre,

1) Begränzt man diesen Raum vollständig oder gröfsten Theils, so wird allerdings der Ton modificirt.

dafs eine zwischen zwei Ebenen befindliche Luftschicht durch Anblasen oder auf irgend eine andere Weise zum Tönen gebracht werden kann. Wenn es hiernach als ausgemacht angesehen werden darf, dafs die betrachteten Töne nicht durch die Schwingungen der zwischen den Platten befindlichen Luft entstehen, so ist doch anzuerkennen, dafs die umgebende Luft auf Stärke, Leichtigkeit des Ansprechens und sogar auf die Höhe der Töne von Einflufs ist; denn begränzt man den Raum zwischen beiden Platten, indem man einen Blechreif von der Breite der Plattendistanz oder eine durchbohrte Korkscheibe zwischen die Platten einfügt, so werden die durch den Luftstrom erzeugten Töne stärker und tiefer und treten in gröfserer Mannigfaltigkeit auf; sie sprechen auch leichter an und entstehen noch bei sehr schwachem Luftdrucke, bei welchem sie unter gleichen Umständen nicht mehr zu beobachten sind, wenn der das Luftvolumen begränzende Korkring oder Blechreif weggenommen wird. Hierbei ist es nicht nothwendig, den Korkring oder Blechreif mit den beiden Platten luft- oder winddicht zu verbinden, sondern es reicht zur Abgränzung des mitschwingenden Luftkörpers hin, die Theile des Apparats aufeinander zu legen. Auch ein offenes Rohr, welches über die Oeffnung der obern beweglichen Platten gehalten wird, verstärkt und modificirt den Ton, ja oft wird derselbe, wenn die Plattendistanz grofs und der Luftdruck schwach ist, nur noch durch ein darüber gehaltenes Rohr wahrnehmbar. Diese Erscheinung, in welcher ein Luftkörper durch sein Mitschwingen den Ton verstärkt, seinerseits aber auch Einflufs auf die Tonhöhe ausübt, enthält nichts Auffallendes; es findet sogar beim Tönen der Zungenpfeife etwas ganz Analoges statt, bei welchen die in dem Aufsatzrohre enthaltene Luftsäule denselben Einflufs auf die Schwingungen der Zunge ausübt.

11. Nachdem die oberhalb der Ausflufsöffnung befindlichen Theile des Apparats betrachtet worden sind, entsteht die Frage, welchen Einflufs die unterhalb derselben befindliche in dem cylindrischen Reservoir enthaltene Luft auf

die Entstehung und Beschaffenheit des Tones ausübe. Die Annahme, daß die in dem Cylinder enthaltene Luftsäule der tönende Körper sey und wie in einer Orgelpfeife schwingt, dürfte schon auf den ersten Blick nicht zulässig erscheinen, denn zunächst hat der ganze Apparat eine Construction, welche von der Construction einer Labialpfeife wesentlich verschieden, ich möchte sagen, welche die Umkehrung derselben ist; dann aber widerspricht hauptsächlich dieser Annahme die leichte Veränderlichkeit des Tones, welcher abgesehen von den einzelnen oben bemerkten Sprüngen allmählig durch die Veränderung des Luftdruckes oder der Plattendistanz höher oder tiefer wird, und sich hierin als von einem bestimmten Luftvolumen unabhängig zeigt. Man kann allerdings durch verschiedenes Anblasen aus einer Orgelpfeife auch eine Reihenfolge von Tönen erhalten, zu deren Erzeugung die Luftsäule in mehrere Theile getheilt schwingt und welche unter den Namen Flageolettöne oder harmonische Töne bekannt sind; aber diese Töne unterscheiden sich von den hier betrachteten wesentlich dadurch, daß sie immer eine von der Luftsäule abhängige Reihenfolge bilden, und durch bestimmte Intervalle von einander getrennt sind.

Obgleich hieraus schon erhellen dürfte, daß die durch den Luftstrom erzeugten Töne von der in dem Cylinder eingeschlossenen Luftsäule im Allgemeinen unabhängig sind, so schien es mir doch noch wünschenswerth, mich durch einen directen Versuch hiervon zu überzeugen. Ich setzte deshalb mittelst einer der oben erwähnten Blechfassungen eine Deckelplatte auf den Glaszylinder, welche ich mit zwei kreisförmigen Ausflußöffnungen von 4 Mm. Durchmesser versehen hatte, und ließ nur den aus der einen Oeffnung tretenden Luftstrom wie früher gegen die in einer beliebigen Entfernung eingestellte bewegliche Platte stoßen. Ich fand zunächst, daß auch bei dieser Einrichtung die Töne ganz in derselben Weise wie früher entstehen und daß durch ein abwechselndes Schließen der zweiten Oeffnung keine andere Aenderung in dem Ton

herbeigeführt wird, als daß er ein wenig höher wird, was offenbar daher kommt, daß durch das plötzliche Absperren des einen Luftstromes der andere etwas verstärkt oder beschleunigt wird. Befände sich dagegen die in dem Cylinder enthaltene Luftsäule in stehender Schwingung, so müßte der Ton durch das Schließen der zweiten Oeffnung tiefer werden, wie sich in der That auch zeigte, als ich den Cylinder an der einen Oeffnung von Aussen anblies und die andern abwechselnd schloß und öffnete. Ein anderer Versuch führte zu demselben Resultate. Ich hielt nämlich über jede der beiden Ausflußöffnungen eine Platte und fand, daß jeder der auf dieselben stossenden Luftströme für sich Töne erzeugte, die von den Tönen des andern unabhängig sind, so daß, wenn die Platten in verschiedener Distanz eingestellt sind, zwei Töne von verschiedener Höhe zu gleicher Zeit wahrgenommen werden. Bleibt die Entfernung der einen Platte constant, während die andere mit dem Nonius auf und abgeschoben wird, so bleibt bei gleichem Luftdrucke auch der eine Ton constant, während der andere sich fortwährend ändert.

Aus dem Vorhergehenden darf jedoch nicht geschlossen werden, daß die Luft unterhalb der Ausflußöffnung gänzlich unbewegt bleibe; sie nimmt sogar nach meiner Ansicht in der Nähe der Ausflußöffnung ohne Zweifel an den Oscillationen Theil, aber nicht in der Weise, daß der im Cylinder enthaltene Luftkörper als Ganzes oder in Theilen schwingt, sondern so, daß die Oscillationen sich von der Ausflußöffnung an, ins Innere bis zu einer von der Höhe des Tones abhängigen Gränze fortsetzen. Ich stelle mir die innerhalb einer Hemisphäre, in deren Mitte die Ausflußöffnung liegt, enthaltene Luft mitschwingend vor und nehme an, daß diese Hemisphäre sich erweitert, wenn der Ton tiefer wird, und sich wieder verengt, wenn die Höhe des Tones in Folge des verstärkten Luftdruckes oder der Annäherung der obern Platte zunimmt. Ist der Raum, aus welchem die verdichtete Luft durch die Ausflußöffnung auströmt, unbegrenzt, oder kann derselbe im Vergleich zur

Ausflußöffnung als unendlich groß angesehen werden, so haben die Schallwellen, welche von der ersten oben erwähnten primitiven Welle erregt werden, keinen rückwirkenden Einfluß; ist dagegen unterhalb der Ausflußöffnung ein begränkter luftgefüllter Raum, wie in meinem Apparate der als Luftreservoir dienende Cylinder, vorhanden, so werden die fortgepflanzten und von den Wänden zurückgeworfenen Schallwellen auf die primitive Welle zurückwirken und dadurch die Töne modificiren. Es kann hierbei der begränzte Luftpörper unter günstigen Umständen wirklich in stehende Schwingungen gerathen und durch Stärke und Eigenthümlichkeit des Klanges sich auszeichnende Töne hervorbringen; es kann sogar hierbei Interferenz der Schallwellen entstehen und bewirken, daß nicht selten gerade bei einem bestimmten Luftdrucke kein Ton anspricht, während bei einem nur wenig stärkeren und schwächeren Luftdrucke unter übrigens gleichen Umständen deutliche Töne entstehen, wie beinahe in jeder Versuchsreihe sich in der That gezeigt hat. In dieser Annahme finden die meisten der oben in Beziehung auf die Beschaffenheit und Reihenfolge der beobachteten Töne gemachten Bemerkungen ihre Erklärung, und es dürften nunmehr die Sprünge, welche sich in den Beobachtungsreihen finden, nicht mehr überraschen, so wie es auch nicht mehr zufällig erscheinen wird, daß die in Tabelle *Va* zusammengestellten Versuche mit dem Gesetze über die Abhängigkeit des Tones von der Plattendistanz weniger gut übereinstimmen als die in Tabelle *Vb* verglichenen, da letztere bei einem mehr als doppelt so großen Luftdrucke angestellt worden sind und deshalb als von den secundären Einflüssen unabhängiger betrachtet werden müssen.

12. Um den Einfluß, welchen der in dem Cylinder enthaltene Luftpörper auf die Töne ausübt, näher kennen zu lernen, habe ich theils größere Ausflußöffnungen angewendet, theils den Raum, aus welchem die Luft ausströmt, beschränkt. Durch diese Versuche wurde der Einfluß des abgegränzten Luftvolumens entschieden nachgewiesen, denn

es zeigte sich in beiden Fällen, daß die durch den auf die obere Platte stoßenden Luftstrom erzeugten Töne im Zusammenhange mit den Tönen stehen, welche man erhält, wenn man die in dem Glascylinder enthaltene Luftsäule durch Anblasen in stehende Schwingung versetzt. Ich benutzte zum Anblasen von solcher eingeschlossenen Luftsäule den in (Taf. II. Fig. 12) abgebildeten Apparat, welcher aus einer kurzen cylindrischen Blechröhre *AC* und einer daran gelötheten breitgeschlagenen Blechröhre *CB* besteht. Wenn ich das Ende *B* an die Oeffnung, an welcher ich den Luftkörper anblasen will, ansetze, und mit dem Munde einen bandförmigen Luftstrom über die Oeffnung treibe, so gelingt es durch verschiedene Haltung des Anblaserohres und durch verschieden starkes Anblasen eine Reihe von Tönen zu erhalten. Diese Töne werden, wenn die Ausflußöffnung im Vergleich zu dem Luftvolumen im Cylinder nicht zu klein ist, auch durch den Luftstrom besonders leicht und wiederkehrend erzeugt, und zeichnen sich durch größere Intensivität vor den übrigen aus. Bei hinreichend großer Ausflußöffnung stimmen die durch den Luftstrom erzeugten Töne fast ganz mit denen überein, welche durch das Anblasen erhalten wurden, wobei zu merken ist, daß bei dieser Einrichtung des Apparats die Töne nicht mehr in Folge der Aenderung des Luftdruckes oder der Plattendistanz allmählig höher oder tiefer werden, sondern plötzlich in einander überschlagen oder nur durch ein zwischen ihnen auftretendes Rauschen getrennt sind.

Die Verengung des Raumes, aus welchem die Luft durch die Ausflußöffnung ausströmt, habe ich dadurch ausgeführt, daß ich die mit der Ausflußöffnung versehenen Platten auf cylindrische Röhren von verschiedener Länge kittete, diese Röhren in eine geeignete Blechfassung (Taf. II. Fig. 6) hineinschob und mit der Blechfassung auf den Glascylinder setzte. Bei dieser Einrichtung ist anzunehmen, daß nicht mehr das den Glascylinder erfüllende Luftvolumen, sondern nur die in der Röhre enthaltene Luftsäule mitschwingt und auf die hier untersuchten Töne Einfluß

übe. Die Versuche wurden, abgesehen von der eingesetzten Röhre, in derselben Weise wie die in Tabelle II. mitgetheilt, bei verschiedener Plattendistanz und unter verschiedenem Luftdrucke angestellt. Die Weite der eingesetzten Röhre betrug 19 Mm. und ihre Länge war in der 1sten Versuchsreihe 115, in der 2ten 92, in der 3ten 68 Mm. Die Ausflußöffnungen waren wegen der Vergleichung mit den früheren Versuchen ebenfalls kreisförmig und hatten einen Diameter von 4 Mm. In einer 4ten Versuchsreihe hatte die eingesetzte Röhre eine Weite von 18 Mm. und eine Länge von 92 Mm., aber ihre Ausflußöffnung hatte einen Diameter von 8 Mm. Ich stelle diese Beobachtungen in 4 Tabellen zusammen, welche ganz dieselbe Einrichtung wie Tabelle II. haben.

Tabelle VI.

Versuche mit eingesetztem Rohre von 19 Mm. Weite, 111 Mm. Länge und kreisförmiger Ausflußöffnung von 4 Mm. Diameter.

Plattendistanz. Mm.	Luftdruck. Mm.	Beobachtete Töne.	Schwingungszahl.	Plattendistanz. Mm.	Luftdruck. Mm.	Beobachtete Töne.	Schwingungszahl.
1,6	8	a^4	6889	2,7	25	c^4	4096
	13	d^3	9195	2,9	1	h^3	1933
	20 — 24	h^5	15464		5	h^3	3866
	30 — 40	d^5	18390		5,5	c^4	4096
1,8	8 — 10	a^4	6889		6	d^4	4598
	15 — 17	d^3	9195		9	e^4	5161
	20 — 25	h^5	15464		11	d^4	4598
2,0	4,5	d^3	1149		15	a^4	6889
	5	d^4	4598		25 — 28	c^5	8192
	11	a^4	6889	3,1	1	h^3	1933
	12	b^4	7298		2	cis^3	2170
2,2	16	d^3	9195		5 — 6	c^3	2048
	4,5	d^2	1149		6,5	cis^3	2170
	5	d^4	4598		7	d^3	2299
	11	a^4	6889		10	e^4	5161
2,7	16	d^5	9195		10,5	f^4	5467
	1	h^3	1933		15 — 17	a^4	6889
	4 — 4,5	h^3	3866	3,8	1	b^3	1824
	5	cis^4	4339		2	c^3	2048
	5,5	d^4	4598		3	d^3	2299
	9	e^4	5161		7	c^4	4096
	11	d^4	4598		9	d^4	4598
	15	a^4	6889		10	$diss^4$	4871

Plat- tendi- stanz. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- tete Töne.	Schwin- gungs- zahl.	Plat- tendi- stanz. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- tete Töne.	Schwin- gungs- zahl.
3,8	22	a^4	6889	5,6	2	h^2	1933
4,5	1,2	b^2	1824		2,5	c^3	2048
	2	h^2	1933		3	cis^3	2170
	2,5	c^3	2048		4,5	d^3	2299
	5	cis^3	2170		5	dis^3	2435
	9	c^4	4096		10	e^3	2580
	10 — 11	d^4	4598		11	f^3	2734
	23	d^4	4598		32	dis^4	4971
5,6	1,5	b^2	1824				

Tabelle VII.

Versuche mit eingesetztem Rohre von 19 Mm. Weite und 92 Mm. Länge
und kreisförmiger Ausflußöffnung von 4 Mm. Diameter.

Plat- tendi- stanz. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- tete Töne.	Schwin- gungs- zahl.	Plat- tendi- stanz. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- tete Töne.	Schwin- gungs- zahl.
1,3	25	e^4	5161	3,4	20	fis^4	5793
1,6	5	d^3	2299		30	c^3	8192
	18	c^3	8192	4,5	3	d^3	2299
	23 — 27	e^4	5161		4	e^3	2580
1,8	6	e^4 u. d^3	{ 5161 2299		7	e^3	2580
	14	c^4	4096		10	e^3	3068
	20	c^3	8192		15	e^4	5161
2,2	2	d^3	2299	5,6	20	fis^4	5793
	6	e^2 u. e^4	{ 1290 5161		2,5	d^3	2299
	14	h^2	3866		3	e^3	2580
	15	c^4	4096		5	d^3	2299
3,4	2	d^3	2299		7	e^3	2580
	2,5	dis^3	2435	6,8	10	f^3	2734
	3	d^3	2299		24 — 25	e^4	5161
	4	f^3	2734		3	d^3	2299
	5	f^4	5467		4	e^3	2580
	7	e^4	1290		5	d^2 u. f^3	{ 2299 2734
	9 — 10	e^4	5161		7	f^3	2734

Tabelle VIII.

Versuche mit eingesetztem Rohre von 19 Mm. Weite und 68 Mm Länge
und kreisförmiger Ausflußöffnung von 4 Mm. Durchmesser.

Plat- tendi- stanz. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- tete Töne.	Schwin- gungs- zahl.	Plat- tendi- stanz. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- tete Töne	Schwin- gungs- zahl.
1,3	6	f^3 u. a^4	{ 2734 6889	5,6	2,5	fis^3	2896
	15	f^3	10935		5	a^3	3444
	40	g^4	6137		5,2	f^3	2734
1,6	6	f^3 u. a^4	{ 2734 6889	6,8	6	fis^3	2896
	15	f^3	10935		8	g^3	3068
	35 — 40	fis^4	5793		9 — 10	a^3	3444
2,0	0,5	f^3	2734	7,9	3	fis^3	2896
	1	fis^3	2896		4	g^3	3068
	7	f^3	2734		5	a^3	3444
2,2	8	a^4	6889	9,0	7,0	fis^3	2896
	10	b^4	7298		7,1	f^3	683
	13	c^5	8192		10	a^3	3444
2,9	2 — 2,5	f^3 u. fis^3	{ 2734 2896	10,1	2	f^3	2734
	8 — 10	a^4	6889		3	fis^3	2896
	20 — 25	d^5	9195		4	fis^3	2896
3,4	2,5	f^3	2734	11,3	5	g^3	3068
	3	fis^3	2896		7	b^3	3649
	4,5	a^3	3444		8	h^3	3866
4,5	5	fis^3	2896	12,4	5	f^3	2734
	11	a^4	6889		9	b^3	3649
	2,5 — 3	f^3	2734		9 — 10	h^3	3866
5,6	4	fis^3	2896	13,5	2	cis^3	2170
	5	a^3	3444		5	g^3	3068
	15 — 16	a^4	6889		6	gis^3	3251
1,3	25	h^4	7732	11,3	10	a^3	3444
	1,5	f^3	2734		12 — 13	h^3	3866
	2	fis^3	2896		2	f^2	1367
2,0	3	f^3	2734	12,4	2,5	cis^3	2170
	6	a^3	3444		11	a^3	3444
	8 — 9	a^3	3444		11,5	a^3	1722
2,2	17 — 18	b^3	3649	12,4	2	f^2	1367
	2	f^3	2734		2,5	c^3	2048
					4	g^3	3068
2,9				13,5	5	fis^3	2896
					6	fis^3	2896

Tabelle IX.

Versuche mit eingesetztem Rohre von 18 Mm. Weite und 92 Mm. Länge
und kreisförmiger Ausflußöffnung von 8 Mm. Durchmesser.

Platt- tendi- stanz. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- tete Töne.	Schwin- gungs- zahl.	Platt- tendi- stanz. Mm.	Luft- druck. Mm.	Beobach- tete Töne.	Schwin- gungs- zahl.
1,1	7 — 10	f^3	2734	3,8	40	c^5	8192
	15	f^3	"	4,5	3	f^3	2734
	22	f^4	5467		4	es^3	2435
1,8	6	f^4	"		5	e^3	2580
	7 — 8	f^3	2734		7	f^3	2734
	10 — 12	f^3	"		9	f^3	"
	13 — 15	f^3 u. f^4	"		18 — 20	f^4	5467
2,5	2	f^3	"		54	c^5	8192
	7 — 9	f^4	5467	5,6	8	e^3	2580
	14 — 17	f^3 u. f^5	2734		9	f^4	5468
	20	c^5	8192		10	f^3	2734
	30 — 32	f^5	10935		25	f^3	"
3,1	3	f^3	2734	6,8	5	f^3	"
	9 — 10	f^4	5467		7	g^3	3068
	15	g^4	6137		8	e^3	2580
	30	c^5	8192		9 — 10	f^3	2734
3,8	3,5	f^3	2734		11	f^4	5467
	14	f^4	5467				

13. Vergleicht man die in den letzten vier Tabellen enthaltenen Beobachtungen mit den oben in Tabelle II. mitgetheilten, so findet man, daß die Verkleinerung des unter der Ausflußöffnung vorhandenen Luftkörpers einen entschiedenen Einfluß nicht bloß auf die Höhe, sondern auch auf die Entstehung des durch den Luftstrom erzeugten Tones hat; denn nach Einsetzung des Rohres entstanden einerseits unter denselben Umständen andere wesentlich verschiedene Töne, andererseits reichte schon ein geringer Luftdruck bei den kleinsten Plattendistanzen hin, um eine Aufeinanderfolge von mehreren nicht all zu hohen Tönen zu erzeugen, während früher ohne Rohr bei denselben Plattendistanzen durch Anwendung eines viel größeren Luftdruckes nur einzelne sehr hohe Töne erhalten werden konnten. Die Mannigfaltigkeit der Töne ist nach der Einsetzung der Röhren nicht mehr so groß wie früher und zwar treten weniger Töne auf, wenn das eingesetzte Rohr kür-

kürzer ist oder eine grössere Ausflußöffnung trägt. Der Gedanke, daß die in den letzten Versuchsreihen vorherrschenden Töne im Zusammenhange mit den Tönen stehen möchten, welche man erhält, wenn die in den Röhren eingeschlossenen Luftsäulen in stehende Schwingungen versetzt werden, liegt sehr nahe, und ich habe mich von seiner Richtigkeit überzeugt, indem ich die einzelnen noch in den Cylinder eingesetzten Röhren an der Ausflußöffnung mit Hülfe des oben erwähnten Blechrohres anblies. Ich fand, daß das bei den in Tabelle VI. enthaltenen Versuchen angewandte Rohr beim Anblasen die Töne

h^2 , c^3 , c^4 , d^4 und a^4

angab; aus dem Rohre in Tabelle VII. erhielt ich

d^3 , e^4 und f^5

aus dem Rohre in Tabelle VIII.

c^2 , f^3 , fs^3 und a^4

aus dem Rohre in Tabelle IX.

e^3 , f^4 und fs^5 .

Ich habe hierbei noch zu bemerken, daß der Ton c^2 , welcher aus dem bei dem Versuche in Tabelle VIII. angewandten Rohre von 19 Millm. Durchmesser und 68 Mm. Länge erhalten wurde, nicht bloß durch die Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule entstanden seyn kann, sondern daß der in dem Glascylinder enthaltene Körper offenbar dazu mitgewirkt haben muß, wie auch daraus hervorgeht, daß die aus dem Cylinder herausgenommene Röhre diesen tiefen Ton nicht mehr angab. Man wird beim Ueberblicken der vorstehenden Tabellen leicht bemerken, daß die beim Anblasen der Röhren erhaltenen Töne unter den Tönen, welche durch den auf die obere Platte stoßenden Luftstrom erzeugt werden, entschieden vorherrschen. Um dieß gehörig zu würdigen, muß man aber beachten, daß die untersuchten Töne einerseits oft leicht in die höhere oder tiefere Octave überspringen, andererseits oft durch eine allmähige Zu- oder Abnahme des Luftdruckes erst höher oder tiefer werden, bevor sie in einen andern Ton übergehen. Es beschleunigt nämlich der rascher ausfließende

Luftstrom die Schwingungen der Luftsäule ähnlich wie das stärkere Anblasen von Aufsen, ohne sofort die Schwingungsart zu ändern, und deshalb sind die nabeliegenden Töne, welche durch allmählig veränderten Luftdruck höher oder tiefer geworden sind, dem primitiven Tone beizuzählen. Auch bei den Versuchen, welche in der Tabelle II. zusammengestellt sind, zeichneten sich gewisse Töne durch Intensivität und leichtes Ansprechen aus, woraus zu schließen ist, daß das in dem Glascylinder enthaltene Luftvolumen auch im Vergleich zu der allerdings kleinen kreisförmigen Oeffnung von 4 Mm. Durchmesser noch nicht als unendlich groß betrachtet werden darf, sondern ab und zu selbst in stehende Schwingungen geräth und dadurch auch auf die durch den Luftstrom erzeugten Töne einen gewissen Einfluss ausübt.

Ich versuchte auch den mit der bezeichneten Ausflußöffnung von 4 Millm. Durchmesser versehenen Glascylinder durch Anblasen zum Tönen zu bringen. Es gelang mir, jedoch nur schwer und durch sehr vorsichtiges Anblasen aus demselben mehrere Töne hervorzulocken, nämlich g , d^1+ , cis^3 und cis^4 , deren Schwingungszahlen in derselben Reihenfolge 283, 575, 2170 und 4339 sind. Die beiden tieferen Töne sprachen nur beim schwächsten Anblasen an, und waren sehr schwach, weshalb sie auch schwer zu bestimmen waren. Es dürfte nun anzunehmen seyn, daß der durch den auf die obere Platte stoßenden Luftstrom erzeugte Ton die in dem Glascylinder enthaltene Luftsäule immer dann zum Mitschwingen bringt, wenn er durch die Abänderung der Plattendistanz oder des Luftdruckes eine solche Höhe erreicht hat, daß seine Schwingungszahl entweder gleich der Schwingungszahl von einem der durch das Anblasen der Luftsäule erhaltenen Töne ist, oder in einem einfachen Verhältnisse zu derselben steht. Im letzteren Falle würden dann mehrere Schwingungen des einen Tones auf eine Schwingung des andern kommen und würden dann entweder, wie es in der That sich bei den Beobachtungen oft gezeigt hat, wirklich zwei Töne wahrzuneh-

men seyn oder es würde einer der beiden Töne sich dem andern accomodiren. Durch das Zusammenklingen von zwei nicht zu unterscheidenden Tönen dürfte auch der eigenthümliche scharfe, trompetenähnliche Charakter, der an einzelnen Tönen oft bemerkt wurde, zu erklären seyn, wie auch das Schwirren und Schnarren, welches manchmal die Töne begleitete, wahrscheinlich auf dieselbe Weise entstanden ist.

Die mitschwingende Luftsäule hat ohne Zweifel auch auf die Höhe der beobachteten Töne Einfluss geübt, denn einmal in Schwingung versetzt, verharret sie auch bei einem etwas veränderten Luftdrucke noch in demselben, so daß der durch den Stoß des Luftstroms erzeugte Ton gewissermaßen festgehalten wird und sich erst bei einer größeren Differenz des Luftdruckes ändert, als ohne den Einfluss der Luftsäule geschehen würde. Die Luftsäule hört dann, wenn sie nicht eine andere Schwingungsart annimmt, auf mitzuschwingen und der beobachtete Ton ist dann plötzlich schwächer.

14. Nachdem ich in dem Vorangehenden die Umstände, unter welchen die untersuchten Töne entstehen, nach allen Seiten hin möglichst sorgfältig betrachtet habe, kann ich zur Beantwortung der Frage schreiten, wie die primitiven Schwingungen, welche diese Töne erzeugten, hervorgerufen werden. Es bleiben nach den vorangehenden Betrachtungen nur noch zwei Annahmen übrig, nämlich, entweder: daß die rasch aufeinanderfolgenden Stöße der an die obere Platte prallenden Lufttheilchen die Töne erzeugen, oder daß die aus der Ausflußöffnung strömende Luft als ein von der umgebenden ruhenden Luft gesonderter Körper anzusehen ist, der durch den Stoß an den Rändern der in der obern Platte vorhandenen Oeffnung in Schwingungen versetzt wird, an welchen die in der Nähe befindlichen Luftkörper unter günstigen Umständen Theil nehmen. Für die erste Annahme spricht allerdings die oben gemachte Bemerkung, daß die Schwingungszahl der Töne im geraden Verhältnisse zur Ausflußgeschwindigkeit der Luft steht; doch dürfte bei

der in der Nähe der Ausflufsöffnung vorhandenen Continuität des Luftstromes eine Aufeinanderfolge von einzelnen Stößen kaum denkbar seyn, und es müßte der Ton hiernach sicherer und leichter erzeugt werden, wenn der Luftstrom erst in einer grösseren Entfernung, wo er sich schon zu zertheilen beginnt, auf die obere Platte stößt. Ausserdem lehrt die Erfahrung, daß gar kein Ton entsteht, wenn der Luftstrom in irgend einer Entfernung auf die Mitte einer hinreichend grossen Platte stößt, woraus folgt, daß nicht sowohl der Stofs gegen eine Fläche als die Reibung oder Streifung des Luftstromes an einer scharfen Kante zur Erzeugung des Tones erforderlich ist.

Deshalb möchte die zweite Annahme angemessener erscheinen, nach welcher der aus der Ausflufsöffnung tretende Luftstrom als ein Stab angesehen wird, der sich fortwährend nach oben bewegt und an seinem Umfange durch Reibung in Longitudinalschwingungen versetzt wird. Es würde hiernach diese Tonerzeugung Aehnlichkeit haben mit den Tönen der hölzernen Stäbe, welche man mit Colophonium einreibt und dadurch in Schwingung versetzt, daß man mit den Fingern an ihnen herunterstreicht. So wie der Stab kräftiger und sicherer anspricht, wenn man ihn rings umfaßt, als wenn man bloß mit einem Finger an ihm herunterstreicht, so geräth auch der Luftstrom entschiedener und kräftiger in Schwingungen, wenn er sich beim Durchgange durch die in der obern Platte vorhandene Oeffnung an seinem ganzen Umfange an dem Rande derselben reibt als in dem Falle, wo er nur an einer einzelnen Stelle an einer Spitze oder Kante vorbeistreift. Die Erfahrung bestätigt dies nicht bloß bei runden Ausflufsöffnungen; denn läßt man den Luftstrom durch einen langen schmalen Spalt ausfließen, so tönt er nur schwach, wenn man ihm bloß an den Enden eine Kante entgegen hält; der Ton wird dagegen schon viel stärker, wenn man den Luftstrom auf einer der breiten Seiten der ganzen Länge nach an einer Schneide vorbeistreichen läßt, und spricht am besten und schönsten an, wenn man auf beiden langen Seiten in glei-

cher Höhe Kanten nähert oder den Luftstrom durch eine Oeffnung streichen läßt, welche der Ausflußöffnung gleich ist.

Das vorzüglichste Bedenken, welches dieser Ansicht über die Entstehung der betrachteten Töne entgegengesetzt werden dürfte, möchte durch den Zweifel entstehen, ob eine bewegte Luftmasse in Beziehung auf die tönenden Schwingungen als ein von der umgebenden ruhenden Luft abgegränzter Körper angesehen werden könne. Meines Wissens liegen bis jetzt keine Erfahrungen vor, welche zur Aufstellung oder Lösung dieser Frage Veranlassung gegeben hätten, und auch ich fühle mich für jetzt außer Stande dieselbe entscheidend zu beantworten, doch will ich einige hierher gehörende Bemerkungen nicht zurückhalten.

15. Ein Analogon mit der Tonerzeugung in freier Luft bietet zunächst ein großes glattgehobeltes Brett, welches, wenn man mit einem oder mehreren Fingern rasch darüber hinstreicht, an den gestrichenen Stellen ebenso wie der Stab in Schwingung versetzt wird und einen meistens hohen Ton erzeugt. Hier schwingt und tönt bloß die geriebene Stelle, da die schwache und vorübergehende Erregung nicht im Stande ist, das ganze Brett in Schwingung zu versetzen, und es ist daher der Ton nicht von der Größe des Brettes, sondern nur von der Geschwindigkeit des Streichens abhängig. Aehnlich ist es, wenn man eine dünne Ruthe oder eine Degenklinge mit raschem Schwunge durch die Luft bewegt und dadurch die Luft, ohne sie in Bewegung zu versetzen, an den durchgehauenen Flächen durch Stoß oder Reibung in rasch vorübergehende Schwingungen versetzt und einen hohen Ton erzeugt ¹⁾, der um so höher ist, je rascher der Schlag ausgeführt wird. Bewegt sich die Luft mit derselben Geschwindigkeit gegen eine Schneide, so muß folgerichtig derselbe Ton entstehen, wie wenn die Schneide gegen die ruhende Luft bewegt wird, und daher auch um so höher seyn, je größer die Geschwindigkeit des Windes ist. Die Töne, welche der Wind auf diese

1) Das Pfeifen der Kugeln entsteht auf dieselbe Weise.

Weise erzeugt, sind aber sehr schwach und werden nur stärker, wenn die Kanten, gegen welche er stößt, größere Ausdehnung haben oder wenn Luftsäulen zum Mitschwingen gebracht werden. In meinem Apparate erzeugt der aus der Ausflußöffnung tretende Luftstrom an den gestoßenen Kanten der oberen Platte die primitiven Schwingungen ohne Zweifel auf dieselbe Weise. Die dadurch allein erzeugten Töne würden aber wegen der geringen Ausdehnung des Luftstromes und der gestoßenen Kanten äußerst schwach seyn und würden auch nur von der Geschwindigkeit des Luftstromes, nicht aber auch von dem Abstände der obern Platte abhängen. Daher muß hier noch entweder der zwischen den Platten gelegene Theil des Luftstromes für sich oder überhaupt die zwischen den Platten befindliche Luft bis in eine gewisse Entfernung rings um die Ausflußöffnung herum mitschwingen.

Um die Art und Weise, wie der aus der Ausflußöffnung tretende Luftstrom in die umgebende Luft übergeht, kennen zu lernen, suchte ich den Luftstrom dadurch sichtbar zu machen, daß ich die Luft vor ihrem Austritte aus der Oeffnung mit Tabakrauch mischte. Ich habe diese Versuche schon im vorigen Jahre in Poggendorff's Annalen für Physik und Chemie, Bd. 85, S. 58 beschrieben und theile deshalb hier nur dasjenige mit, was in unmittelbarer Beziehung zu der besprochenen Tonerzeugung steht. Es zeigte sich bei diesen Versuchen, daß der durch Rauch sichtbar gemachte Luftstrom bei einem mäßigen oder schwachen Luftdrucke, wie er zu der Erzeugung der Töne nothwendig ist, einen von der umgebenden Luft scharf abgegränzten continuirlichen Faden oder Strahl bildet, der erst in der Entfernung von ungefähr einem Zoll unruhig wird, sich zertheilt und mit der umgebenden Luft vermischt. Bei stärkerem Luftdrucke, also bei größerer Ausflußgeschwindigkeit, verkürzt sich der zusammenhängende und ruhig ausfließende Theil des Luftstromes, gerade so wie dieß bei einem aus einer Bodenöffnung ausfließenden Wasserstrahl

stattfindet, mit welchem überhaupt der Luftstrom auch in seinem übrigen Verhalten große Aehnlichkeit zeigt ¹⁾).

Läßt man den Luftstrom auch durch die in der obern beweglichen Platte vorhandene Oeffnung streichen, so wird an demselben keine Veränderung sichtbar, aufser dafs er an einzelnen Stellen, wo er wegen der nicht ganz vollkommenen Einstellung über den Rand der Oeffnung übergreift, zurückgeworfen wird. An dem unter der Platte befindlichen Theile des Luftstromes ist auch während des Tönens keine Bewegung oder Erzitterung zu bemerken, wie denn auch die Schwingungen viel zu rasch sind, als dafs sie sichtbar seyn könnten. In Beziehung auf die Entfernung der beweglichen Platte von der Ausflufsöffnung ist noch zu bemerken, dafs nur dann noch deutliche Töne von bestimmter Höhe entstehen, wenn die Platte innerhalb des noch zusammenhängenden Theils des Luftstromes eingestellt wird, wogegen nur ein Rauschen entsteht, wenn die Platte von dem oberen Theile des Luftstromes getroffen wird. Hiermit stimmen auch die mitgetheilten Beobachtungen überein, denn dieselben zeigen, dafs bei gröfserer Plattendistanz nur noch bei schwachem Luftdrucke Töne erzeugt werden, bei welchen der Luftstrom sich, wie oben bemerkt wurde, erst in gröfserer Entfernung der Ausflufsöffnung zertheilt.

Diese Beobachtungen scheinen dafür zu sprechen, dafs die erzeugten Töne von den Longitudinalschwingungen des scharf abgegränzten continuirlichen Theiles des zwischen den Platten enthaltenen Luftstromes ²⁾ herrühren, denn der Ton kann nach dieser Ansicht nicht entstehen, wenn der Körper, der ihn erzeugen soll, aufhört, ein homogenes Ganze zu seyn. Noch ein anderer Umstand spricht für dieselbe Ansicht. Die obere Platte nämlich, durch welche

1) Nach Savart entstehen beim Ausfliessen des Wassers aus einer Bodenöffnung des Gefäfses auch Töne, deren Höhe der Ausflufsgeschwindigkeit proportional ist.

2) Der durch die obere Platte hindurchgegangene Theil des Luftstromes hat keinen Einflufs auf den Ton, wie daraus hervorgeht, dafs man von oben her einen Blechstreifen nähern kann, ohne dafs der Ton aufhört oder auch nur irgend eine Modification erleidet.

der Luftstrom hindurchgeht, muß nicht aus harter, schwerer Substanz bestehen, sondern man kann statt derselben einen Streifen ganz feines Postpapier anwenden, in welchem man eine kreisförmige Oeffnung ausgeschnitten hat, und erhält doch noch dieselben Töne. Damit das Blättchen Postpapier nicht von dem anprallenden Luftstrome umgebogen oder fortgerissen werde, ist es rathsam, diese Oeffnung etwas größer zu machen, als die Ausflußöffnung ist. Man kann auch bei diesem Versuche ein mit einer Oeffnung versehenes Scheibchen von feinem Postpapier auf einen Korkring von der Dicke der zur Tonerzeugung erforderlichen Plattendistanz legen. Bei richtiger Einstellung der Oeffnung reißt der Luftstrom das leichte Papierscheibchen nicht fort, erzeugt dagegen dieselben Töne. Ab und zu hört man nur noch außerdem einen schnarrenden Ton, der von dem Erzittern des Blättchens und dem Aufschlagen desselben auf die Unterlage herrührt. Es ist hieraus jedenfalls zu schließen, daß zu der besprochenen Tonerzeugung nur eine äußerst schwache Reibung an einem festen Körper, nicht aber eine Aufeinanderfolge von Stößen auf denselben erforderlich ist. Endlich ist noch als hierher gehörend zu bemerken, daß entweder gar keine oder doch nur sehr schwache, schwirrende Töne entstehen, wenn man den Luftstrom durch eine Röhre von der Weite der Ausflußöffnung ins Freie treten und auf die darüber gehaltene Platte stoßen läßt. Diese Ausflußröhre braucht gar nicht lang zu seyn, sondern es reicht eine Länge derselben von einem Zoll hin, um die Entstehung der Töne zu verhindern. Es wird durch den Stoß auf den Rand der in der oberen Platte vorhandenen Oeffnung nur noch ein Rauschen hervorgebracht, wie es auch entsteht, wenn die bewegliche Platte zu weit von der Ausflußöffnung entfernt ist.

Das Ausbleiben der Töne in diesem Falle, welches auf den ersten Blick überraschend erscheinen kann, dürfte am leichtesten und einfachsten durch die Annahme erklärt werden, daß der durch das Rohr ausfließende Luftstrom sich gleich bei seinem Austritte zu zertheilen anfängt und kei-

nen solchen ruhig fließenden continuirlichen Theil enthält, wie er zur Bildung der Töne erforderlich ist.

Nach dem Vorgehenden dürfte die Annahme, daß der zwischen den Platten befindliche Theil des Luftstromes als ein gesonderter Luftkörper zu betrachten sey, der Longitudinalschwingungen macht und dadurch tönt, schon einige Wahrscheinlichkeit gewinnen, doch werden über das Verhalten von solchen durch die Bewegung isolirter Luftmassen noch andere Erfahrungen gesammelt werden müssen, bevor dieselben anerkannt werden können.

16. Da bei den beschriebenen Versuchen die Ausflußöffnung immer in dünner Wand sich befand, so habe ich, um die Untersuchung der beim Ausströmen der Luft entstehenden Töne zu vervollständigen, noch den Fall zu betrachten, wo die Luft durch eine in einer dicken Wand angebrachte Oeffnung ausströmt. Dieser Fall wird dadurch interessant, daß nicht bloß die oben beschriebenen Töne durch den auf die obere Platte stoßenden Luftstrom erzeugt werden, sondern auch beim bloßen Ausfließen der Luft schöne und kräftige Töne von bestimmter Höhe entstehen, ohne daß eine Platte über die Ausflußöffnung gehalten wird. Um diese Töne zu erhalten, ist in der Regel ein stärkerer Luftdruck erforderlich, als zur Erzeugung der früher betrachteten Töne angewendet werden mußte, und außerdem muß zwischen der Größe der Ausflußöffnung, der Dicke der Platte, in welcher dieselbe ausgeschnitten ist, und der Luftsäule unterhalb der Ausflußöffnung ein zweckmäßiges Verhältniß stattfinden. Um diese Töne sicher zu erhalten, ist keineswegs ein complicirter Apparat erforderlich. Man nimmt eine Röhre aus beliebiger Substanz, z. B. Glas, Holz, Pappe, Metall, befestigt an dem einen Ende derselben eine 2 bis 3 Millm. dicke Platte, durch welche man eine cylindrische Ausflußöffnung so gebohrt hat, daß auf beiden Seiten scharfe Ränder entstehen, und bläst mit dem Munde durch das Rohr. Die auf diese Weise erhaltene Pfeife ist die einfachste, welche denkbar ist, und spricht an, sowohl wenn man die Luft durch sie

hindurchtreibt, als auch, wenn man die Luft einsaugt. In Taf. II. Fig. 13 ist ein solcher Apparat im Durchschnitt abgebildet.

Ich habe zunächst zu bemerken, daß die Platte aus beliebiger Substanz angefertigt werden kann, denn diese Pfeifen sprechen gleich gut an, wenn jene Platte aus Holz, Blei, Zinn, Gutta-Percha oder Korkholz bestand. Ferner braucht die Ausflußöffnung nicht gerade kreisförmig zu seyn, sondern es tönen solche Apparate mit drei- und viereckiger Ausflußöffnung ebenso gut. Ist die Platte etwa nur 1,5 bis 2 Millm. dick, so ist es wesentlich, daß die Ränder der Ausflußöffnung scharf seyen, denn macht man diese Ränder stumpf, so tönen die Apparate nicht mehr, die ihren Ton vorher leicht und sicher angegeben haben. Wenn die Platte dagegen dicker ist, so kann man die Ränder etwas abrunden, muß aber dann etwas stärker blasen, um den Ton noch zu erhalten. Bei dicken Platten kann man statt der cylindrischen Ausflußöffnung auch eine konische anwenden, die sich nach Aufsen erweitern muß (Taf. II. Fig. 14), wenn man den Ton beim Durchblasen erhalten will. Befestigt man die Platte mit der konischen Ausflußöffnung umgekehrt an die Röhre (Taf. II. Fig. 15), so entsteht der Ton beim Einsaugen der Luft oder wenn man den Apparat von Oben anbläst. Die Innenwand der cylindrischen Oeffnung braucht ferner nicht glatt zu seyn, sondern kann mit Riffen oder Schraubengängen versehen seyn. Der mit der Schraubenmutter erzeugte Ton, dessen Beobachtung mich zu dieser Untersuchung veranlaßte, findet also hier seine Erklärung.

Bei der Erzeugung dieser Töne schwingt die unterhalb der Ausflußöffnung befindliche Luftsäule offenbar mit und zwar ebenso wie in einer offenen Labialpfeife, denn die Höhe des Tons hängt von den Dimensionen der Röhre ebenso ab, wie bei einer Labialpfeife. Die folgenden Bemerkungen lassen darüber keinen Zweifel: 1) Der Ton des Apparats ist derselbe, welchen man erhält, wenn man die Röhre wie einen Schlüssel anbläst; 2) wenn man die

untere Oeffnung der Röhre verengt, so wird der Ton tiefer; 3) dasselbe Rohr giebt mit einer kleineren Ausflußöffnung einen etwas tieferen Ton; 4) durch verstärktes Blasen erhält man dieselben Flageoletttöne wie bei einer Labialpfeife.

Um noch über die Dimensionen der von mir construirten Apparate, so wie über die mit denselben erzeugten Töne und den dazu erforderlichen Luftdruck nähere Auskunft zu geben, stelle ich in der folgenden Tabelle X. die mit einigen solcher einfachen Pfeifen angestellten Versuche zusammen. In der ersten Columne habe ich die laufende Nummer der angewendeten cylindrischen Röhren, in der zweiten ihre Länge, in der dritten ihre Weite in Millimetern angegeben. In der vierten Columne ist die Substanz bezeichnet, aus welcher die an dem einen Ende der Röhre befestigte, mit der Ausflußöffnung versehene Platte besteht. In der fünften Columne ist die Dicke der Platte, in der sechsten die Gestalt der Ausflußöffnung, in der siebenten die Länge des Durchmessers oder der Seiten derselben angegeben. Die achte Columne enthält die im Manometerrohre des Luftreservoirs (Taf. II. Fig. 4), auf welches die Pfeifen gesetzt wurden, abgelesene den Luftdruck messende Wasserhöhe in Millimetern. In der neunten Columne habe ich die dem Luftdruck entsprechenden Töne angegeben und in der zehnten ihre Schwingungszahlen beigesetzt.

Tabelle X.

Nro. der Röhre.	Länge der Röhre. Mm.	Weite der Röhre. Mm.	Substanz der Platte.	Dicke der Platte.	Gestalt der Ausfluß- öffnung.	Durchmesser oder Seite. Mm.	Luftdruck. Mm.	Beobachtete Töne.	Schwingungs- zahl.
1	333	28	Holz.	3,7	Kreis.	11,7	3	a ¹	861
							12—14	a ²	1722
							22—25	a ³	2580
							2	gis ¹	812
							4—5	gis ²	1625
							10	c ⁴	4096
							11—15	e ³	2580
							16—20	a ³	3444
2	175	11	Blei.	1,5	Kreis.	3,6	30	c ⁴	4096
							10	g ³ —	3068
							20	d ⁴	4598
							15	gis ³	3251
3	115	11	Blei.	1,5	Rechteck.	{2,7 6,7	30	dis ⁴	4871
							5—7	cis ³ +	2170
							15—24	cis ⁴	4339
							55—60	c ⁵ —	8192
							20—25	d ⁴	4598
							65—70	cis ⁵	8679
4	126	7,5	Blei.	1,5	Rechteck.	{2,7 6,9	20—25	cis ⁵	4598
							20—25	d ⁴ +	6889
							38—43	a ⁴ —	3444
5	74	7	Gutta - Percha	2	Kreis.	2,5	10—15	a ³	6889
							40—44	a ⁴	3444
6	61	6,8	Blei.	1,2	Kreis.	2,8	9	c ⁴ —	4096
							11	d ⁴	4598
							15	dis ⁴	4871
							36—38	c ⁵	8192
7	39	5,5	Blei.	1,2	Gleichseitiges Dreieck.	3,4	30—35	g ⁴	6137
							40—50	a ⁴	6889
							75—80	a ⁵	13777
8	20	5,5	Zinn.	2	Kreis.	3	14—30	f ³	10935
							64—75	f ⁴	21870

Bei diesen Versuchen war der Kanal der Ausflufsöffnung immer cylindrisch oder prismatisch. Verbindet man die Röhre mit einer Platte, deren Ausflufsöffnung sich nach Aussen konisch erweitert, so erhält man im Wesentlichen dieselben Töne; nur sprechen die tieferen Töne, welche der Schwingung der ganzen in den Röhren enthaltenen Luftsäulen entsprechen, besser an. Die Röhre No. 2 giebt z. B. mit den angewendeten Bleiplatten den Grundton der Luftsäule nämlich g^2 nicht an; versieht man sie dagegen mit einer konischen Ausflufsöffnung, so erhält man bei einem Luftdrucke von 8 — 15 Millm. Wasserhöhe g^2 , bei 32 — 40 Millm. Wasserhöhe g^3 . Die angewendete konische Ausflufsöffnung ist in einer Korkplatte von 6 Millm. Dicke so ausgeschnitten, dafs der untere kleinere Kreis des Kegelstumpfes einen Durchmesser von 4,5 Millm., der obere gröfsere einen Durchmesser von 8 Millm. hat.

Die meines Erachtens einzig mögliche Erklärung dieser Tonerzeugung ist sehr einfach und steht in naher Beziehung zu der oben gegebenen Erklärung der durch den auf die Kanten einer Platte stofsenden Luftstrom erzeugten Töne. Es ist nämlich anzunehmen, dafs der Luftstrom bei seinem Durchgange durch die cylindrische oder konische Ausflufsöffnung sich entweder an dem zweiten Rande oder an der ganzen inneren Fläche derselben reibe und dadurch, in Longitudinalschwingungen versetzt werde, welche von der angränzenden in dem Rohre enthaltenen Luftsäule gleichfalls angenommen werden. Die Schwingungen, welche der durch die in dicker Wand enthaltene cylindrische oder konische Oeffnung gebende Luftstrom annimmt, müssen viel intensiver seyn als diejenigen, in welche er durch den Stofs auf die über ihn gehaltene Platte versetzt wird, weil er im ersten Falle gröfsere Luftvolumen zum Mitschwingen veranlafst und dadurch tiefere und stärkere Töne erzeugt. Nur wenn ich gröfsere Ausflufsöffnungen anwendete und unter einem sehr schwachen Luftdrucke den Luftstrom auf die in gröfserer Distanz eingestellte obere Platte stossen liefs, gelang es mir, die in dem Glascylinder enthaltene

ganze Luftsäule mitschwingen zu lassen und dadurch tiefe Töne zu erzeugen; dagegen traten diese sicher und viel stärker auf, wenn ich die Wand dadurch verdickte, daß ich einen niedrigen Ring von Metall oder Kork über die Oeffnung legte. Besonders sicher entstanden diese tiefen Töne, wenn die Oeffnung des Ringes sich nach oben konisch erweiterte.

17. Um die Gränzen dieser Abhandlung nicht zu überschreiten, muß ich es mir versagen, auf diese Tonerzeugung noch genauer einzugehen; ich kann aber nicht unterlassen, von dem durch die vorangehende Untersuchung gewonnenen Standpunkte aus einige Blicke auf ein Paar längst bekannte akustische Erscheinungen zu werfen. Zunächst ließen sich jetzt die Umstände genauer angeben, unter welchen der Druck des Windes in Gebäuden die bekannten pfeifenden und heulenden Töne erzeugt. Die mit dem doppelten Blasebalg und dem beschriebenen Apparat erzeugten Töne erinnerten auch oft, wenn der Druck der Luft allmählig gesteigert oder ermäßigt wurde, an das Pfeifen und Heulen des Windes. Es würde aber eine müßige Beschäftigung seyn, die Gestalt der Ritze und Spalten zu beschreiben, durch welche die eindringende Luft pfeifend hindurchgehen müßte. Ich begnüge mich daher bloß mit der Andeutung, daß bei dem im Zimmer bemerkten Heulen des Windes die offenen Schlüssellocher eine Hauptrolle spielen und daß man mit Recht auf Verstärkung des Windes schließt, wenn der durch ihn erzeugte Ton höher wird.

Von größerem Interesse ist die Betrachtung der pfeifenden Töne, welche man mit dem gespitzten Munde hervorbringen kann, das sogenannte Pfeifen mit dem Munde. Nach meiner Ansicht entstehen diese Töne nicht durch ein Erzittern der Lippen, sondern auf dieselbe Weise, wie in dem zuletzt beschriebenen Apparate. Die Röhre ist die Mundhöhle und die Ausflußöffnung wird von den zusammengepreßten Lippen gebildet. Die Geschicklichkeit im Pfeifen besteht darin, daß man den Lippen die gehörige Stellung giebt, die Mundhöhle durch die Haltung der Zunge

zur Erzeugung der verschiedenen Töne gehörig verengt und erweitert und den Luftstrom mit dem erforderlichen bald stärkeren bald schwächeren Drucke durch den von den Lippen gebildeten Kanal hindurchtreibt. Beobachtet man die Haltung, welche man zur Erzeugung der Pfeiftöne den Lippen geben muß, genauer, so bemerkt man, daß der *Musculus orbicularis* oder *Sphincter oris* dabei so zusammengezogen wird, daß die Lippen dadurch ordentlich steif und hart werden und daß an ihnen nach der inneren Seite ein hart anzufühlender Rand hervortritt. Schon hierdurch dürfte der Einwand, daß die Lippen zu weich sind, entkräftet werden; doch lehrt auch noch die Erfahrung, daß obige Apparate ihren Ton noch sehr gut erzeugen, wenn die Platte, welche die Ausflußöffnung enthält, aus ziemlich weicher Substanz, wie Kork, Leder, Gutta-Percha oder Gummi elasticum besteht.

Daß das Pfeifen mit dem Munde auf dieselbe Weise wie in jenen Apparaten entsteht, läßt sich auch vorzüglich aus dem ähnlichen Verhalten der erzeugten Töne schließen. Man kann nämlich auch die Pfeiftöne mit dem Munde sowohl beim Ausstoßen als auch beim Einsaugen der Luft erzeugen. Ferner ist hier gleichfalls zur Erzeugung von höheren Tönen ein stärkerer unter größerem Drucke erzeugter Luftstrom erforderlich und endlich vergrößert man durch Zurückziehen der Zunge den Raum der Mundhöhle, wenn man tiefere Töne erzeugen will, schiebt dagegen die Zunge nach vorn, wenn höhere Töne hervorgebracht werden sollen. Durch die gemeinschaftliche Anwendung dieser Mittel d. h. durch Anwendung eines stärkeren oder schwächeren Druckes beim Ausstoßen der Luft und durch Verengung und Erweiterung des Raumes im Munde, in welchem die Luft mitschwingt, ist man im Stande innerhalb zwei bis drei Octaven Töne von beliebiger Höhe hervorzubringen und rasch zu verändern. Die Gränze für die tiefen Töne ist durch die Größe der Mundhöhle von selbst gegeben, während sich der Umfang des Pfeifregisters nach oben hin durch Uebung eher erweitern läßt. Die mit dem Munde

hervorzubringenden Töne liegen etwa zwischen c^2 und c^3 bis d^4 .

Zum Schluss bemerke ich noch, daß die Resultate der vorstehenden Untersuchung auch über die Erzeugung der Töne in Labialpfeifen manche Aufklärung versprechen, denn einige hier auffallende und unerklärliche Erscheinungen treten auch bei den von mir untersuchten Tönen auf und dürften auf dieselbe Weise zu erklären seyn. Es ist beim Anblasen der Orgelpfeifen wie bei der Entstehung der hier untersuchten Töne wesentlich, daß der Luftstrom gegen eine Kante stofse; die Stärke des Luftstromes hat in beiden Fällen denselben Einfluß. Setze ich eine Orgelpfeife mittelst einer von den oben erwähnten Blechfassungen auf den als Luftreservoir dienenden Glaszylinder und blase dieselbe unter verschiedenem Luftdrucke an, so entstehen, außer den Normaltönen und den durch Ueberblasen erhaltenen Flageolettönen, bei schwächerem Luftdrucke noch mehrere Reihen von Tönen, die den von mir untersuchten Tönen ähnlich sind. Der Abstand der Kante der Aufschnittsöffnung von der Ausflussspalte hat bei den Labialpfeifen einen ähnlichen Einfluß wie die Plattendistanz bei meinem Apparate.

Ich muß mich, um die Grenzen dieser Abhandlung nicht zu überschreiten, mit diesen Andeutungen begnügen und werde bei einer anderen Gelegenheit auf diese Erscheinungen genauer eingehen.

IV. *Erwiedering auf die Bemerkungen von Hrn. Clausius; von H. Helmholtz.*

Herr Clausius greift in diesen Annalen Bd. LXXXIX, S. 568 einige Stellen meiner Schrift über die Erhaltung der Kraft an. Bei dem ersten Punkte, den er behandelt, die Ableitung des Gesetzes der Wärmeentwicklung bei elektrischen Entladungen aus dem Principe von der Erhaltung der Kraft betreffend, ist seine Polemik durch ein vollständiges Mißverständniß dessen, was ich gemeint und ausgesprochen habe, bedingt.

Ich soll nämlich von der irrigen Ansicht ausgegangen seyn, das, was ich Potential einer Masse auf sich selbst genannt habe, sey gleich der gethanen Arbeit, während es doch in Wahrheit doppelt so groß ist, und als Beleg dafür citirt Clausius auf S. 569 seines Aufsatzes eine Stelle aus S. 39 meiner Schrift so, als hätte ich diese Stelle all-gemeingültig hingestellt, während ich ihr vielmehr besondere Annahmen vorausgeschickt habe, welche Bedingungen ihrer Gültigkeit sind. Wenn aber auch meine Worte in jener Stelle vielleicht einen Zweifel erregen konnten, so habe ich doch auf der folgenden Seite den auch von Clausius citirten mathematischen Ausdruck für die durch zwei elektrisirte Körper repräsentirte Arbeit gegeben, aus der meine Ansicht über diesen Punkt jedenfalls ganz unzweideutig zu entnehmen war. Man braucht nur den einen der beiden Körper als unendlich groß und unendlich entfernt anzunehmen, so erhält man die Arbeit, welche der elektrischen Vertheilung in dem anderen Körper entspricht, gleich dem halben Potentiale seiner Elektricität auf sich selbst, also übereinstimmend mit Clausius gleich dem, was dieser ganzes Potential genannt hat. Ich habe diese Folgerung an jener Stelle nicht ausdrücklich ausgesprochen, weil wir es, streng genommen, nie mit einem elektrischen Körper allein zu thun haben, sondern stets min-

destens mit zweien, von denen der zweite die Erde seyn kann. Doch findet sich die genannte Folgerung für ganz analoge Verhältnisse bei Magneten auf S. 63 meiner Schrift, wo ausdrücklich das halbe Potential eines Magneten auf sich selbst als Maafs der Arbeit anerkannt wird.

Meine Beweisführung geht nicht von einer falschen Annahme über das Arbeits-Aequivalent des genannten Potentials aus, sondern hat im Gegentheile den Zweck, dies Arbeits-Aequivalent erst zu finden. Bei einer Bewegung zweier elektrisirten Körper ohne Aenderung der Vertheilung ist, wie ich unmittelbar vorher gezeigt habe, der Gewinn an Arbeit der Differenz des Potentials der elektrischen Massen auf einander gleich. Jetzt mußte auch der Arbeitsgewinn bei Aenderung der Vertheilung gefunden werden. Dies geschah durch die Betrachtung eines Falls von Entladung, wobei ich die wirkende Elektrizität so in vier elektrische Massen eintheilte, daß die Arbeit, welche bei der Entladung durch Vertheilungsänderungen dieser vier Massen entstand, gleich Null war, indem nämlich zwei von diesen vier Massen ihren Platz und ihre Vertheilung behielten, zwei andere von gleicher Gröfse und entgegengesetztem Zeichen beides vertauschten, wodurch offenbar keine Arbeit gewonnen oder verloren wird. Es wurde dadurch also ein Fall von Bewegung mit Vertheilungsänderung auf einen ohne Vertheilungsänderung zurückgeführt, und es konnte deshalb die gewonnene Arbeit gleich der Differenz der Potentialsumme gesetzt werden. Allerdings habe ich den Grund, warum letzteres geschehen konnte, dem Leser zu ergänzen überlassen. Wenn Herr Clausius meinen Beweis in diesem Sinne ansieht, wird er ihn, denke ich, richtig finden.

Zweitens nimmt Clausius Anstofs daran, daß ich eine von Vorsselman de Heer aus den Versuchen von Riefs gezogene Folgerung aufgenommen habe, welche eine unerlaubte Verallgemeinerung der durch die Versuche gewonnenen Resultate enthalte. Er hat nicht bemerkt, daß ich dabei selbst auf den Aufsatz von Riefs verwiesen

habe, welcher die Bedenken gegen eine solche Verallgemeinerung enthält. Ich habe also nichts Unsicheres als sicher, und nichts Lückenhaftes als vollständig ausgeben wollen. In seiner eigenen Untersuchung der Sache gelangt Clausius zu dem Ergebnisse, daß die Schlußweise von Vorsselman de Heer, die ich, indem ich sie citirte, mindestens als berücksichtigenswerth bezeichnet hatte, für den vorliegenden Zweck vorläufig ganz unbrauchbar sey. Es könnte also scheinen, als sey ich ganz unberechtigt gewesen, auf jene Folgerungen hinzuweisen. Indessen bitte ich zu bemerken, daß Clausius zu dieser vollständigen Verwerfung nur dadurch kommt, daß er schließlich auch das von Riefs aus seinen Versuchen abgeleitete Gesetz als unsicher verwirft. Hebt man die thatsächliche Grundlage auf, so fallen natürlich auch alle Folgerungen daraus zusammen. Wir wollen zunächst also festzustellen suchen, was von den Schlüssen von Vorsselman de Heer stehen bleibe und für unseren Zweck brauchbar sey, wenn wir die Gesetze von Riefs so weit als gültig betrachten, wie dieser es selbst als erlaubt ansieht, und außerdem nur dieselbe Annahme als wahrscheinlich beibehalten, welche Clausius selbst anwendet, wo er aus dem theoretischen Principe zu folgern sucht, daß die Wärmeentwicklung in den einzelnen Theilen des Schließungsdrahtes dem Producte aus Quantität und Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie proportional seyn müsse, die Annahme nämlich, daß bei Schließungsbögen von großer reducirter Länge gegen die in den continuirlichen Theilen des Schließungsbogens entwickelte Wärmemenge die Arbeits-Aequivalente der übrigen Entladungsvorgänge verschwinden. Diese Annahme ist in der That deshalb höchst wahrscheinlich richtig, weil die im ganzen continuirlichen Theile des Schließungsbogens entwickelte Wärme bei wachsender Länge desselben nach den Gesetzen von Riefs fortdauernd wächst, und alle übrigen bekannten Entladungswirkungen dagegen fortdauernd abzunehmen scheinen. Unter diesen Umständen können wir folgern, daß mindestens bei Schließungsbögen

von sehr großer reducirter Länge und einer beschränkten Anzahl von Verbindungsstellen verschiedener Metalle, die bei der Entladung entwickelte Wärme bis auf verschwindend kleine Theile von der Länge, Verzweigung und Zusammensetzung des Bogens unabhängig sey. Ist w die reducirte Länge des continuirlichen Theils des verzweigten oder unverzweigten Leitungsdrahtes, ϑ die in diesem Theile entwickelte Wärme, q die Quantität der Elektricität in der Batterie, und s die Zahl der gleich construirten Leydener Flaschen, so ist nach Riefs

$$\vartheta = \frac{aw}{b+w} \cdot \frac{q^2}{s}$$

wo a und b Constanten sind. Wird nun bei wachsender Größe von w nicht gleichzeitig die Zahl der Verbindungsstellen verschiedener Metalle vermehrt, so wird sich nach den obigen Voraussetzungen eine Größe von w erreichen lassen, wo die Wärmeentwicklung in den Verbindungsstellen, im Funken, in den Belegen der Flaschen und andere Arbeits-Aequivalente gegen ϑ verschwindet, ϑ also bis auf unmerklich kleine Quantitäten die ganze entwickelte Wärme repräsentirt. Ferner wird sich w auch so groß machen lassen, daß b dagegen verschwindet, dann wird

$$\vartheta = a \frac{q^2}{s}$$

wie es das theoretische Gesetz verlangt.

Dagegen will ich Clausius gern zugeben, daß wir nicht durch thatsächliche Beweise entscheiden können, ob bei den Versuchen von Riefs die gemachten Voraussetzungen erfüllt waren, weder ob die Theile der Arbeit verschwanden, welche nicht dem Gesetze der Wärmeentwicklung in linearen Leitern von constantem Widerstande folgen, noch auch ob die Größe b wirklich, wenn von ihr die reducirten Längen der constanten Theile des Schließungsbogens ab und zu w hinzugerechnet wurden, gegen w verschwindend klein war. Setzen wir das theoretische Gesetz, das aus der Aequivalenz von Wärme und mechanischer Kraft hergeleitet ist, als richtig voraus, so folgt

daraus allerdings, dafs, so weit die Versuche von Riefs sich der von ihm daraus abgeleiteten Formel fügen, die gesammte Arbeitsleistung in den nicht untersuchten Theilen der Leitung aequivalent seyn mußte der Wärme, welche durch die Entladung in der reducirten Länge b zu entwickeln war. Denn die ganze zu leistende Arbeit ist

$$a \cdot \frac{q^2}{s},$$

die in den linearen Leitungen vom Widerstande w entwickelte

$$\frac{aw}{b + w} \cdot \frac{q^2}{s},$$

also die Differenz beider

$$\frac{ab}{b + w} \cdot \frac{q^2}{s},$$

d. h. gleich der Wärme, welche in der reducirten Länge b zu entwickeln wäre. Während also durch das aus den Versuchen hergeleitete Gesetz, wenigstens theilweise, für grofse Werthe von w , wo die etwa vorhandenen störenden Umstände verschwinden mußten, das allgemeine Princip bestätigt wird, macht letzteres wieder wahrscheinlich, dafs unter den Bedingungen, wo jene Versuche angestellt sind, entweder keine unbekannten Umstände einen merklichen Einfluß hatten, oder dafs sie, wenn sie wirksam waren, auch mit unter jenes empirische Gesetz fielen.

Clausius deutet in seinem Aufsätze an, dafs eine solche Schlussfolgerung, wie ich sie eben gezogen habe, möglich sey; doch läßt er sich nicht darauf ein, sie zu ziehen, weil ihm die Richtigkeit der empirischen Formel von Riefs zweifelhaft erscheint. Er macht darauf aufmerksam, dafs die allerdings kleinen Abweichungen zwischen der Formel und den Beobachtungen ein constantes Gesetz zu befolgen scheinen. Indessen ist dieß fast allgemein bei den Beobachtungsreihen von Riefs mit dem elektrischen Thermometer der Fall. Die stärkeren Erwärmungen sind fast immer kleiner gefunden, als sie nach der Rechnung seyn sollten, was davon herrühren mag, dafs der Wärmeverlust

im Thermometer bei höheren Temperaturunterschieden verhältnißmäßig stärker war. Indessen sind die Abweichungen überall so gering, daß wir bei der großen Schwierigkeit dieser Versuche deshalb wohl noch keinen Verdacht gegen die Gesetze zu schöpfen brauchen. Mindestens sehe ich keinen Grund, den einen Factor der Formel, welcher vom Widerstande abhängig ist, mehr zu bezweifeln, als den von der Ladung abhängigen, welchen Clausius für seine Folgerungen benutzt. Indessen wenn er geneigt ist, die Uebereinstimmung der Versuche mit jenem ersten Theile des Gesetzes für einen bloßen Zufall zu halten, so läßt sich darüber natürlich nicht weiter mit ihm rechten. Ich bin gern geneigt, jeden Zweifel, der uns stets dazu führen kann, die Thatsachen genauer festzustellen, zu ehren; aber wir müssen uns dadurch nicht verhindern lassen, uns die Consequenzen solcher Gesetze klar zu machen, die durch eine lange Reihe von Thatsachen so weit erwiesen sind, als es zur Zeit möglich erscheint

Clausius neigt sich in dieser Sache zu der Annahme, daß die bisher nicht untersuchten Theile der Arbeit einen beträchtlichen Theil der Gesamtwirkung bilden. Mir schien aus der Uebereinstimmung des theoretischen und empirischen Gesetzes das Gegentheil wahrscheinlicher. Indessen da es an factischen Entscheidungsmitteln ganz fehlt, ist es unnütz über die grössere oder geringere Wahrscheinlichkeit der einen oder der anderen Annahme zu streiten. Ich kann es deshalb wohl unterlassen, gegen die Wahrscheinlichkeitsgründe, welche Clausius vorgebracht hat, Einwendungen zu machen und andere dagegen zu stellen, besonders da eine Entscheidung der Hauptpunkte durch Versuche nicht eben allzu schwer erscheint.

Der dritte Punkt, den Clausius angegriffen hat, betrifft den Beweis des folgenden allgemeinen Satzes: *das Princip von der Erhaltung der lebendigen Kraft gilt nur da, wo die wirkenden Kräfte sich auflösen lassen in Kräfte materieller Punkte, welche in der Richtung der Verbindungslinie wirken, und deren Intensität nur von der Entfernung*

abhängt. Wir wollen auf solche Kräfte allein den besonderen Namen Centrakräfte anwenden, wie es in meiner Schrift schon geschehen ist.

Ich gebe in meiner Schrift zuerst die bekannte analytische Folgerung, daß in einem solchen Falle Richtung und Gröfse der auf einen der materiellen Punkte wirkenden Gesamtkraft nur Function von Raumgrößen (Coordinaten) nicht von Zeit, Geschwindigkeit u. s. w. seyn können. Dieser Theil des Beweises läßt sich ausführen, ohne die auf den betrachteten Punkt wirkende Gesamtkraft in ihre einzelnen Theile aufzulösen, die den einzelnen wirkenden Punkten angehören. Der Grund, warum es nicht ganz unwichtig erscheint, die Theile der Folgerungen besonders hinzustellen, welche eine solche Auflösung nicht erfordern, wird weiter unten erhellen.

Um die Kräfte zu finden, mit denen zwei einzelne materielle Punkte gegen einander wirken, muß ich natürlich das System aufgelöst denken, und zwei solche Punkte allein betrachten. Dieser Theil des Beweises kann übrigens von dem ersten ganz unabhängig gemacht werden, und auf ihn beziehen sich die Einwürfe von Clausius. Er behauptet nämlich, ich hätte außer der Annahme, daß die Erhaltung der lebendigen Kraft stattfinde, noch eine zweite Annahme gemacht, die nämlich, daß die Gröfse der Kraft Function der Entfernung sey, und daraus erst geschlossen, daß die Richtung der Kraft die der Verbindungslinie sey. Ich habe aber in der betreffenden Stelle die Behauptung über die Gröfse der Kraft nicht als Annahme, sondern als Folgerung aus dem vorhergehenden Theile des Beweises hingestellt, und wenn ich ein neues Princip angewendet habe, so war es nur das Princip, wenn man es so nennen will, daß Stärke und Richtung reell vorhandener Naturkräfte nicht von der Lage blofs vorgestellter Coordinatsysteme, sondern nur von der Lage reell vorhandener physischer Objecte abhängig gemacht werden könnten.

Da dieser Theil des Beweises übrigens in meiner Schrift durch die Verbindung mit dem ersten Theile schwerfälli-

ger geworden ist als nöthig war, und wie ich sehe auch in Beziehung der Gedankenverbindung schärfer seyn könnte, so möge es mir wegen der Wichtigkeit des bestrittenen Punktes erlaubt seyn, ihn hier abgetrennt von dem ersten Theile und mit specieller Angabe aller seiner Vordersätze wieder anzuführen, damit man die Grundlagen auf denen er ruht, klar übersehe. Das Princip von der Erhaltung der lebendigen Kraft ist gemäß der Formulirung auf S. 9 meiner Schrift, wenn wir es nur auf bewegliche Massenpunkte beziehen, folgendes: *»Wenn in beliebiger Zahl bewegliche Massenpunkte sich nur unter dem Einflusse solcher Kräfte bewegen, die sie selbst gegen einander ausüben, so ist die Summe der lebendigen Kräfte aller zusammengenommen zu allen Zeitpunkten dieselbe, in welchen alle Punkte dieselben relativen Lagen gegen einander einnehmen, wie auch ihre Bahnen und Geschwindigkeiten in der Zwischenzeit gewesen seyn mögen.«* Ich muß hier besonders auf den Begriff der relativen Lage aufmerksam machen, der vielleicht nicht von allen Mechanikern in diesem Principe angewendet worden ist, der aber offenbar für die physikalische Anwendung des Principis durchaus wesentlich ist. Ich denke, es wird gegen folgende Definition dieses Begriffs nichts einzuwenden seyn: *»Gleiche relative Lage zu einander haben bewegliche Punkte, so oft ein Coordinatensystem zu construiren ist, in welchem alle ihre Coordinaten beziehungsweise dieselben Werthe wiederbekommen.«*

Aus dieser Definition folgt unmittelbar für zwei Punkte, daß sie dieselbe relative Lage zu einander haben, so oft sie sich in gleicher Entfernung von einander befinden; denn so oft dies der Fall ist, läßt sich nicht bloß ein, sondern es lassen sich durch Drehung dieses einen um die Verbindungslinie der Punkte unzählig viele Coordinatensysteme finden, in denen die Coordinaten beider Punkte beziehungsweise dieselben Werthe annehmen. Die Summe der lebendigen Kräfte soll nach der Annahme gleich seyn bei gleicher relativer Lage der Punkte. Die relative Lage ist gleich bei gleicher Entfernung, folglich wird durch unsere

Annahme auch bedingt, daß für zwei Punkte die lebendige Kraft gleich sey bei gleicher Entfernung, also ihrer GröÙe nach abhängig sey nur von der Entfernung. Hiervon geht der zweite Theil meines Beweises aus, der sich auf zwei einzelne Punkte bezieht. Nennen wir die ganze lebendige Kraft des Systems L , welche GröÙe also nach dem eben Gesagten Function der Entfernung r ist. Die Coordinaten der beiden beweglichen Punkte seyen beziehlich x_1, y_1, z_1 und x_2, y_2, z_2 , die Componenten der Kraft, welche auf den ersten Punkt ausgeübt wird, X, Y, Z , und ihre Resultante R , so ist nach bekannten analytischen Sätzen

$$X = \frac{dL}{dx_2} \text{ oder} \\ = \frac{dL}{dr} \frac{dr}{dx_2} \text{ oder}$$

$$1) \quad X = \frac{dL}{dr} \frac{x_2 - x_1}{r} \text{ und ebenso}$$

$$2) \quad Y = \frac{dL}{dr} \frac{y_2 - y_1}{r}$$

$$3) \quad Z = \frac{dL}{dr} \frac{z_2 - z_1}{r}$$

$$4) \quad R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = \frac{dL}{dr}.$$

Die Gleichungen 1, 2 und 3 sagen aus, daß die Kraft nach der Richtung der Verbindungslinie wirke, die Gleichung 4, daß ihre GröÙe Function der Entfernung r sey; *q. e. d.*

Clausius stellt meinen Sätzen die Möglichkeit entgegen, daß bei den Bewegungen eines beweglichen Punktes b um einen festen a die lebendige Kraft eine beliebige Function der Coordinaten sey. Eine solche Annahme würde zunächst der oben gegebenen Formulirung des Principis von der Erhaltung der Kraft nicht gemäß seyn; sie würde also rein logisch genommen kein Gewicht gegen die Folgerungen enthalten, die ich daraus gezogen habe. Aber es ist dagegen auch zu erinnern, daß wenn diese Annahme auch zuweilen bei mathematischen Untersuchungen auf dem

Papiere, wo man sich die Coordinataxen hinzeichnen kann, eine erlaubte und nützliche Vereinfachung der Vorstellung seyn kann, sie sich doch nicht auf die physikalische Wirklichkeit übertragen läßt, so lange wir dem Grundsatz treu bleiben wollen, für reelle Wirkungen den vollständigen Grund auch nur in den Beziehungen reeller Dinge zu einander zu suchen. Denn wenn der feste Punkt a irgendwo im Raume gegeben wäre, müßten doch auch unmittelbar dadurch, daß er gegeben ist, diejenigen Richtungen gegeben seyn, in denen die lebendige Kraft um ihn herum die größte oder die kleinste ist, und diese Richtungen können ersichtlich durch die bloße Lage des Punktes nicht gegeben seyn. Wir müssen hier scharf zwischen einem Punkte und einem körperlichen Elemente unterscheiden. Ein körperliches Element hat drei Dimensionen und durch seine Lage sind deshalb auch Richtungen bestimmt. Sobald uns z. B. die Lage eines körperlichen Elements eines Krystalls vollständig gegeben ist, sind uns auch die Richtungen der Krystallaxen gegeben. Demgemäß liegt auch kein Widerspruch darin, daß ein solches Element nach verschiedenen Richtungen verschiedene Kräfte ausübe, wie es z. B. die Elemente eines magnetisirten Körpers thun. Aber innerhalb eines solchen Elements können wir uns auch eine unendliche Verschiedenheit von wirkenden Punkten denken. Körperliche Elemente sind deshalb noch nicht das letzte gleichartigste, bei dem unsere Analyse der Kräfte aufhören müßte.

Wenn also die Mechaniker in einem beweglichen Systeme von Massenpunkten die lebendige Kraft als Function der Coordinaten der Punkte betrachten, so dürfen sie hier statt der Punkte nicht körperliche Elemente substituiren, denn dann würde die lebendige Kraft auch noch von den Richtungen dreier fester Axen in jedem Elemente abhängen. Dem entsprechend müssen wir auch in dem Beispiele von Clausius statt des festen Punktes a ein körperliches Element setzen. Wenn nun die lebendige Kraft des bewegten Punktes b eine beliebige Function der Coordina-

ten φ ist, so kann gefragt werden, ob in jedem Falle eine Anordnung von wirkenden Punkten mit Centalkräften innerhalb des Volumelements a möglich sey, welche die lebendige Kraft φ hervorbringen könnte.

Es läßt sich nun einsehen, daß dies für Entfernungen, gegen welche die GröÙe des Elements verschwindet, stets möglich sey, und auch, daß sogar jedesmal unendlich viele verschiedene Anordnungen dieser Art existiren werden. Unter ihnen ist für den zu führenden Beweis diejenige die bequemste, wo wir uns die wirkenden Punkte auf der Oberfläche einer unendlich kleinen Kugel vom Radius ϱ vertheilt denken. Die Function φ sey nach den Kugelfunctionen von Laplace entwickelt. Wenn φ , wie wir hier annehmen müssen, continuirlich ist, so giebt diese Entwicklung bekanntlich stets eine convergirende Reihe, und indem wir eine gewisse endliche Anzahl ihrer Glieder benutzen, können wir dadurch die Function φ mit jedem beliebigen Grade von Genauigkeit darstellen. Der Mittelpunkt des Coordinatensystems sey im Mittelpunkte der Kugel. Die Coordinaten eines äußeren Punktes seyen

$$\begin{aligned}x &= r \cos \omega, \\y &= r \sin \omega \sin \vartheta, \\z &= r \sin \omega \cos \vartheta.\end{aligned}$$

Die eines Punktes auf der Kugel seyen

$$\begin{aligned}a &= \varrho \cos \alpha, \\b &= \varrho \sin \alpha \sin \beta, \\c &= \varrho \sin \alpha \cos \beta.\end{aligned}$$

Wir betrachten ϱ als verschwindend klein gegen r , und nennen den reciproken Werth der letztern GröÙe e , den der Entfernung der beiden Punkte xyz und abc dagegen ε , so daß also

$$\begin{aligned}e &= \frac{1}{r} \\ \varepsilon &= \frac{1}{\sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}}\end{aligned}$$

Wir setzen ferner

$$\varepsilon - e = \Delta e.$$

Bekannt ist die Entwicklung von ε nach Kugelfunctionen, deren Glieder die Form haben

$$b_{(n, m)} \varrho^n e^{n+1} \frac{d^n P_n(\omega)}{d(\cos \omega)^n} \frac{d^n P_n(\alpha)}{d(\cos \alpha)^n} \sin^n \omega \sin^n \alpha \cos[m(\vartheta - \beta)],$$

wo $b_{(n, m)}$ ein Zahlencoefficient und $P_n(\omega)$ eine ganze Function des n ten Grades von $\cos \omega$ ist, welche entweder nur gerade oder nur ungerade Potenzen dieser Grösse enthält. Die Entwicklung von Δe ergibt sich daraus sogleich, wenn man das erste Glied der Reihe für ε , welches e ist, wegnimmt. Die Entwicklung der Function φ liefert dagegen eine Summe von Gliedern der Form

$$\psi_{(e)} \frac{d^n P_n(\omega)}{d(\cos \omega)^n} \sin^n \omega \cos(m \vartheta) \text{ oder}$$

$$\psi_{(e)} \frac{d^n P_n(\omega)}{d(\cos \omega)^n} \sin^n \omega \sin(m \vartheta)$$

wo ψ eine Function von e ist, die jede mögliche Form haben kann. Wir wollen die Reihe abschliessen mit den Gliedern für welche $n = \nu$ ist.

Die Aufgabe ist also: für die Punkte der Kugeloberfläche eine Function U von ε , α und β so zu bestimmen, dass wir haben:

$$\varphi = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} U \varrho^2 \sin \alpha \, d\alpha \, d\beta.$$

Wir können nun U in eine Summe von Theilen zerlegen, welche einzelnen Gliedern oder Gliedergruppen der Reihe für φ entsprechen. Nehmen wir aus dieser Reihe alle Glieder heraus, für welche m einen constanten Werth μ , n dagegen die Werthe ν , $\nu - 2$, $\nu - 4$ u. s. w. bis μ oder $\mu + 1$ hin hat, und welche $\cos(m \vartheta)$ als Factor enthalten, und bezeichnen wir die Summe dieser Glieder mit $\varphi_{\nu\mu}$, den dazu gehörigen Theil von U mit $U_{\nu\mu}$, so lässt sich zeigen, dass der Gleichung

$$\varphi_{\nu\mu} = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} U_{\nu\mu} \varrho^2 \sin \alpha \, d\alpha \, d\beta \quad 1)$$

Genüge geschieht, wenn wir für $U_{\nu\mu}$ eine ähnliche Summe setzen, wie $q_{\nu\mu}$ ist, deren Glieder die Form haben

$$u_{n\mu} \frac{d^n P_n(\alpha)}{d(\cos \alpha)^\mu} \sin^\mu \alpha \cos(\mu \beta),$$

wo ebenfalls n die Werthe ν , $\nu - 2$, $\nu - 4$ u. s. w. bis μ oder $\mu + 1$ annimmt, und u eine Function von ε allein ist.

Setzt man nun für $U_{\nu\mu}$ in die Gleichung 1) diese Summe, entwickelt jedes u nach dem Taylorschen Satze

$$u_\varepsilon = u. + \frac{d_\varepsilon u}{d\varepsilon} \Delta e + \frac{1}{1.2} \cdot \frac{d_\varepsilon^2 u}{d\varepsilon^2} \Delta e^2 + \text{etc.},$$

setzt auch für Δe seine Entwicklung nach Kugelfunctionen, so kann man schliesslich alle vorhandenen Gröfsen als constante Factoren vor das Integralzeichen setzen, mit Ausnahme der Kugelfunctionen und trigonometrischen Functionen von α und β , und die Integration dann ausführen. Wenn man weiter berücksichtigt, dafs

$$\int_0^{2\pi} \cos(p\beta) \cos[q(\vartheta - \beta)] d\beta = 0$$

so oft nicht p gleich q ist, dafs ferner

$$\int_0^\pi \frac{d^n P_n(\alpha)}{d(\cos \alpha)^m} \cos^p \alpha \sin^{2m+1} \alpha d\alpha = 0$$

so oft p kleiner als $n - m$ ist, und behält man ferner von den Gliedern, welche als Factor dieselbe Function $u_{n\mu}$ oder einen ihrer Differentialquotienten enthalten, nur diejenigen bei, welche mit den niedrigsten Potenzen von ϱ multiplicirt sind, da ϱ so klein gemacht werden kann als man will, so reducirt sich schliesslich die Gleichung 1) auf ein System linearer, partieller Differentialgleichungen

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\varrho^\nu} \psi_{\nu\mu} &= a_1 e^{\nu+1} \frac{d^{\nu\mu} u_{\nu\mu}}{de} + a_2 e^{\nu+2} \frac{d^2 u_{\nu\mu}}{de^2} + \text{etc.} \\
&\quad + a_{(\nu-\mu)} e^{2\nu-\mu} \frac{d^{\nu-\mu} u_{\nu\mu}}{de^{\nu-\mu}} \\
\frac{1}{\varrho^{\nu-2}} \psi_{(\nu-2)\mu} &= b_1 e^{\nu-1} \frac{d^{\nu-2, \mu} u_{\nu-2, \mu}}{de} + b_2 e^\nu \frac{d^2 u_{\nu-2, \mu}}{de^2} + \text{etc.} \\
&\quad + b_{\nu-2-\mu} e^{2\nu-4-\mu} \frac{d^{\nu-2-\mu} u_{\nu-2, \mu}}{de^{\nu-2-\mu}} + \varrho^2 c_2 e^{\nu+2} \frac{d^2 u_{\nu\mu}}{de^2} + \text{etc.} \\
&\quad + \varrho^2 c_{(\nu-\mu)} e^{2\nu-\mu} \frac{d^{\nu-\mu} u_{\nu\mu}}{de^{\nu-\mu}}.
\end{aligned}$$

u. s. w.

Die Gröfsen a , b , c u. s. w. sind Zahlencoefficienten. Aus der ersten dieser Gleichungen kann man nach bekannten Integrationsregeln $u_{(\nu, \mu)}$, aus der zweiten dann $u_{(\nu-2, \mu)}$ finden u. s. w. Aus dem Verfahren, welches man bei der Integration zu befolgen hat, geht auch hervor, dafs wenn die Functionen ψ für endliche Werthe von e endlich sind, auch die Gröfsen $\varrho^\nu u_{\nu\mu}$ und deren Ableitungen nach e , so weit sie in unseren Reihenentwickelungen vorkommen, für endliche Werthe von e und r stets endlich sind. Sowie somit die Theile von $U_{\nu\mu}$ gefunden sind, lassen sich die für jedes andere ähnliche Aggregat von Gliedern von φ finden, und somit läfst sich die gestellte Aufgabe jedenfalls bis zu jedem beliebigen Grade von Genauigkeit lösen.

Von einer anderen Seite hätte ich vielleicht Einwendungen gegen meinen Satz erwarten können. Ich habe nämlich ein Princip angewendet, welches allerdings in der mathematischen Mechanik ganz allgemein gebraucht wird, nach dessen Berechtigung aber vielleicht gefragt werden könnte. Ich habe nämlich vorausgesetzt, dafs die Kraft, welche ein Punkt a auf einen anderen b ausübt, unabhängig von der Anwesenheit jedes dritten Punktes c sey, so dafs also die Kraft welche a und c gleichzeitig auf b ausüben, die Summe derjenigen ist, welche sie einzeln genommen ausüben würden. Nur unter dieser Voraussetzung bin ich berechtigt anzunehmen, wie es in dem vorausge-

gangenen Beweise geschehen mußte, daß das, was für die Kräfte der beiden bewegten Punkte a und b , wenn sie sich allein befinden gilt, auch noch gelte, wenn sie sich verbunden mit einem größeren Systeme materieller Punkte bewegen. Wenn wir die Richtigkeit dieses Princips anerkennen, wie es hisher in der Mechanik immer geschehen ist, so folgt daraus, daß die lebendige Kraft nicht eine ganz beliebige Function der Coordinaten des Systems seyn könne, sondern eine Function, welche gewisse particuläre Differentialgleichungen erfüllen müsse. Nennen wir L die lebendige Kraft, a, b, c, d u. s. w. die einzelnen materiellen Punkte, $x_a, y_a, z_a, x_b, y_b, z_b$ u. s. w. ihre Coordinaten, X_a die der x Axe parallele Componente der Kraft, welche der Punkt b auf den Punkt a ausübt, so ist nach bekannten Sätzen

$$\frac{dL}{dx_a} = X_{ab} + X_{ac} + X_{ad} + \text{etc.}$$

Die Kraft X_{ab} würde nach dem eben ausgesprochenen Principe unabhängig seyn von der Anwesenheit oder Lage sämtlicher anderen materiellen Punkte, mit Ausnahme von a und b , würde also auch nur Function von den Coordinaten dieser Punkte seyn können, ebenso X_{ac} nur Function der Coordinaten von a und von c . Daraus folgt, wenn wir nach y_b differenziren, daß

$$\frac{d^2 L}{dx_a dy_b} = \frac{dX_{ab}}{dy_b}.$$

Da der Ausdruck der rechten Seite nur noch Function der Coordinaten von a und b ist, kann auch der der linken nur eine eben solche Function seyn. Es müssen also alle Differenzialquotienten von der Form

$$\frac{d^3 L}{dx_a dy_b dz_c} \text{ oder } \frac{d^2 L}{dx_a dx_b dy_c} \text{ oder } \frac{d^2 L}{dx_a dx_b dx_c}$$

gleich Null seyn.

Verbinden wir hiermit, was ich eben aus dem Begriffe der relativen Lage für die physikalische Anwendbarkeit hergeleitet habe, so folgt, daß die Function L eine Summe von Functionen seyn muß, deren jede nur abhängig von

der Entfernung zweier einzelnen Punkte ist, so wie ich sie in meiner Abhandlung hingestellt habe.

Was endlich den vierten Punkt betrifft, der glücklicherweise nicht in wesentlicher Verbindung mit dem Hauptthema meines Buches steht, nämlich das, was ich über die Schrift von Holtzmann gesagt habe, so muß ich hier allerdings einen Irrthum eingestehen. Holtzmann spricht im Anfange sein Princip so aus, daß es wie eine Anerkennung der Aequivalenz von Wärme und Arbeit klingt, und der bei weitem größte Theil der mathematischen Folgerungen, die er zieht, so weit sie ohne Integration zu erhalten sind, entsprechen dem auch. Die Integration ist aber, wie Clausius nachgewiesen hat, nicht in der Weise auszuführen, wie es Holtzmann gethan hat, wenn das Princip der Aequivalenz festgehalten werden soll.

In der Theorie des Galvanismus muß ich die Einwürfe von Clausius erwarten. Das Kapitel der Elektrodynamik dagegen ist in meiner Schrift nur unter einer sehr beschränkenden Voraussetzung durchgeführt, weil ich damals von aller mathematisch physikalischen Literatur entblößt, fast auf das beschränkt war, was ich selbst zu erfinden wußte. Ich habe deshalb den Magnetismus des Eisens nur unter der Voraussetzung behandeln können, daß dasselbe vollkommen weich sey, d. h. der magnetischen Vertheilung gar kein Hinderniß entgegensetze, so daß diese Vertheilung genau dieselbe würde, wie die der Electricität an elektrisirten Leitern. Unter der allgemeineren Voraussetzung jedoch, welche Poisson seinen Theoremen zu Grunde gelegt hat, daß die Stärke der Magnetisirung der magnetisirenden Kraft proportional sey, was für geringe Stärke der Magnetisirung jedenfalls mit der Erfahrung stimmt, mit Benutzung ferner der seit jener Zeit in Deutschland bekannt gewordenen Theoremen von Green, und meiner eigenen Untersuchungen über den Verlauf der durch Stromesschwankungen inducirten Ströme, läßt sich das genannte Kapitel jetzt vollständiger und genügender als irgend ein anderes behandeln, und namentlich läßt sich das

das allgemeine Gesetz von Neumann für die inducirten Ströme jetzt viel vollständiger aus dem Principe von der Erhaltung der Kraft herleiten.

Da Clausius eine Arbeit über dies Kapitel ankündigt, will ich ihm nicht vorgreifen, durch eine Veröffentlichung meiner eigenen weiteren Arbeiten hierüber. Ich kann es nur für einen Gewinn halten, wenn die Ideenverbindungen, welche ich in meiner Schrift damals zu einer Zeit, wo sie noch wenig Anklang unter den Physikern fanden, darzulegen suchte, jetzt von einem Andern in anderer Form wieder aufgenommen, und in so vollständiger und kritischer Weise durchgearbeitet werden, wie es bisher bei anderen Kapiteln der Theorie von der Erhaltung der Kraft durch Herrn Clausius geschehen ist. Nur sey es mir vergönnt, die Resultate, wie ich sie mit erweiterten Hilfsmitteln später gewonnen habe, hier kurz zusammenzustellen, damit ich mit meiner älteren Darstellung nicht in zu ungünstigem Lichte neben Herrn Clausius stehen bleibe.

Die Voraussetzung ist demnach, daß das magnetische Moment eines jeden körperlichen Elements innerhalb eines durch Vertheilung magnetisirten Körpers A der magnetischen Richtkraft an dieser Stelle proportional sey und dieselbe Richtung habe. Das Potential des vertheilten Körpers A gegen den vertheilenden Magneten B sey V , das von A auf sich selbst (nach Clausius Definition) sei W , so lassen sich folgende Sätze ableiten.

1) Wenn der vertheilende Magnet aus unendlicher Entfernung dem vertheilten Körper A genähert wird, so wird dabei mechanische Arbeit gewonnen gleich dem Werthe von $\frac{1}{2}V$ am Ende des Weges. Dies ist ein, so viel ich weiß, neuer Satz in der mathematischen Theorie des Magnetismus. Wird der in A erzeugte Magnetismus nun fixirt und der Magnet in unendliche Entfernung gebracht, so wird dabei die mechanische Arbeit V aufgebraucht. Die erzeugte Magnetisirung von A hat also die mechanische Arbeit $\frac{1}{2}V$

erfordert. Nur wenn die magnetische Vertheilung im Eisen ganz unbehindert ist, wird entsprechend den elektrisirten Körpern, wie ich es in meiner Schrift angenommen habe, die durch die Magnetisirung repräsentirte Arbeit gleich $-W$, d. h. gleich der Arbeit, welche durch die Anziehungskräfte der frei gewordenen magnetischen Fluida verrichtet werden kann. Der Unterschied $\frac{1}{2}V - (-W)$ repräsentirt also die Größe der Moleculararbeit innerhalb des magnetisirten Körpers.

2) Aus meinen Untersuchungen über die durch Stromesschwankungen inducirten Ströme ¹⁾ ergibt sich, daß die Ansteigung eines galvanischen Stromes gegeben wird durch eine Gleichung von folgender Form

$$i = \frac{A}{w} \left(1 - e^{-\frac{p}{r}t}\right)$$

wo A die elektromotorische Kraft, w der Widerstand, t die Zeit und p eine Constante ist, welche nur von der Form der Leitung abhängt (nach Neumann, das doppelte Potential der Leitung auf sich selbst bei der Stromeseinheit, dividirt durch die Inductionsconstante). Der durch das Ansteigen des Stromes inducirte Integralstrom ist dann

$$\frac{p}{w} J,$$

wo J den größten Werth, welchen i erreicht, bezeichnet. Dabei wird durch den inducirten Strom die Wärmemenge

$$\frac{1}{2} p J^2$$

vernichtet, wenn die Einheit von w diejenige ist, in der die willkürliche Einheit der Stromintensität in der Zeiteinheit die Wärmeeinheit entwickelt. Wird der Strom so unterbrochen, daß der dabei inducirte Extracurrent eine Leitung findet, so wird dieselbe Wärmemenge wiedererzeugt, ohne daß dafür ein anderer Arbeitsverbrauch stattfindet. Der galvanische Strom J repräsentirt uns also, so

1) Diese Annalen Bd. LXXXIII, S. 505.

lange er besteht, eine geleistete Arbeit, aequivalent der Wärmemenge

$$\frac{1}{2} p J^2.$$

3) Wenn demnach ein Stromleiter von unveränderlicher Form mit unveränderlichen Stahlmagneten und Eisenmassen in Wechselwirkung tritt, welche letzteren theils durch ihn selbst, theils durch die Magnete magnetisirt werden, so muß in jedem Augenblicke durch den inducirten Strom so viel Wärme in der Stromleitung entwickelt oder vernichtet werden, als an Arbeit bei den stattfindenden Bewegungen, bei der Magnetisirung der Eisenmassen und Veränderung der Stromintensität verloren oder gewonnen wird. Daraus läßt sich jetzt für die Induction durch Magnete ganz allgemein das Gesetz von Neumann ableiten, daß die inducirte elektromotorische Kraft gleich ist den Veränderungen des Potentials der vorhandenen Magnete auf die von der Stromeinheit durchflossene Stromleitung, multiplicirt mit einer Constanten, und ferner, daß diese Constante bei der angegebenen Einheit des Widerstandes gleich dem reciproken Werthe des mechanischen Aequivalents der Wärmeeinheit ist. Diese Ableitung konnte ich in meiner früheren Schrift vollständig nur durchführen für die Induction durch Bewegung eines unveränderlichen Magneten.

4) W. Weber ¹⁾ hat die Induction bei Bewegung eines Stromleiters gegen einen anderen experimentell verglichen mit der bei Bewegung des Stromleiters gegen einen Magneten, und gefunden, daß beide gleich sind, unter Umständen wo die Veränderungen des Potentials auf den von der Stromeinheit durchflossenen Leiter gleich sind. Wenn also das Inductionsgesetz von Neumann für Magnetinduction vollständig gilt, erscheint es gerechtfertigt, dasselbe auch auf Induction durch Bewegung von Stromleitern zu übertragen. Dann läßt sich weiter aus dem Principe von der Erhaltung der Kraft folgern, daß auch die in dem einen Leiter durch Stromesschwankungen des

1) Elektrodynamische Maassbestimmungen. Leipzig 1846, S. 71.

andern inducirten Ströme demselben Gesetze folgen. Für einen einzelnen Stromeskreis ist es mir noch nicht gelungen zu beweisen, daß die oben mit p bezeichnete Constante gleich dem doppelten Potentiale seyn müsse, so wahrscheinlich dieß auch nach der Analogie der übrigen Fälle seyn mag.

Die in meiner früheren Schrift gegebene Gleichung für die Induction zweier bewegten Stromleiter auf einander, ist nur für den Fall richtig, wo der eine Strom gegen den andern verschwindend klein ist, weil ich damals noch nicht den Einfluß der Induction bei Unterbrechung der Stromleitungen zu berücksichtigen wußte.

V. *Die mechanische Arbeit, welche zur Erhaltung eines elektrischen Stromes erforderlich ist;*
von C. Holtzmann.

1. **B**ewegt man den Magnetismus μ um einen Leiter der Elektrizität, welcher außer der Bahn von μ geschlossen ist, so entsteht in diesem Leiter ein elektrischer Strom. Dieser übt rückwärts auf den Magnetismus eine Kraft aus, welche der Bewegung des Magnetismus entgegenwirkt. Man bedarf deshalb zur Bewegung des Magnetismus einer Kraft, welche den Magnetismus durch seine Bahn führt, eine mechanische Arbeit als deren Aequivalent der erregte Strom erscheint. Die oben angegebene Art einen elektrischen Strom hervorzubringen, ist in dem von Plücker angegebenen Apparat von Fessel in Cöln verwirklicht, und dieser Apparat ist es auch in der That, welcher mir diesen Weg, das mechanische Aequivalent des elektrischen Stromes festzustellen, zeigte.

2. Das lineare Element Sds eines elektrischen Stromes S übt nach dem bekannten Biot'schen Satze auf ein

Element μ des magnetischen Fluidums eine bewegende Kraft aus, welche gleich

$$\frac{\mu S ds}{r^2} \sin \theta \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

ist, wenn

S die Größe des elektrischen Stromes,

ds ein Element des Leiters, der von diesem durchflossen ist,

r die Entfernung von μ und ds ,

θ der Winkel von r und ds ist.

Diese Kraft ist rechtwinklich auf die Ebene (r, ds) gerichtet.

3. Wird das Element μ des magnetischen Fluidums in einem Kreise um einen nach der Axe des Kreises geradlinig gehenden Leiter geführt, welcher von dem Strome S durchströmt wird, so übt dieser Leiter auf den Magnetismus μ eine nach der Tangente des von ihm durchlaufenen Kreises gerichtete Kraft aus, welche für den als unendlich lang gedachten Leiter gleich

$$\mu S \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin \theta ds}{r^2}$$

ist. Setzt man

$$ds \sin \theta = r d\varphi,$$

so wird obiger Ausdruck

$$\mu S \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{r},$$

was wieder mit

$$r \cos \varphi = r_1$$

in

$$\frac{\mu S}{r_1} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos \varphi d\varphi = \frac{2\mu S}{r_1} \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

übergeht, wo r_1 die Entfernung von μ und dem geradlinigen Leiter ist. Diefs sind bekannte Sätze.

4. Ist der Strom S durch die Rotation des Magnets hervorgebracht, so geht diese Kraft der Rotation des Magnetismus entgegen, und man hat bei der Bewegung des Magnets diese Kraft als Widerstand zu überwinden. Ist daher die Geschwindigkeit, mit welcher der Magnet bewegt wird, u , so ist die in der Zeiteinheit hierzu erforderliche Arbeit

$$\mathfrak{A} = \frac{2\mu S}{r_1} \cdot u,$$

oder wenn man die Winkelgeschwindigkeit, mit der diese Drehung erfolgt, mit

$$w$$

bezeichnet,

$$\mathfrak{A} = 2\mu S w \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

5. Zur Bestimmung der Gröfse des durch diese Rotation. erregten Stroms gehe ich nun von folgendem von Wilhelm Weber aufgestellten Satze aus: Wird das Element μ des magnetischen Fluidums mit der Geschwindigkeit u parallel der Richtung der Kraft bewegt, welche nach dem Biot'schen Satze (I) auf das Stromelement $S ds$ wirkt, so wird auf das lineare Element ds des Leiters eine der Richtung des Stroms S parallele elektromotorische Kraft ausgeübt, deren Stärke durch

$$\frac{\mu \cdot u \cdot ds}{r^2} \sin \theta \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

ausgedrückt ist.

Die elektromotorische Kraft, welche hiernach in dem geradlinigen Leiter durch die Bewegung, die in No. 3 betrachtet wurde, entsteht, ist

$$\mu u \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin \theta ds}{r^2}$$

was wie (No. 3) in

$$\frac{2\mu u}{r_1}$$

übergeht, wofür man wieder mit

$$w = \frac{\mu}{r_1}$$

setzen kann

$$2\mu w \dots (5).$$

6. Ist nun in dem geschlossenen Leiter eine anderweitige elektromotorische Kraft nicht vorhanden, und ist L der Leitungswiderstand im ganzen Leiter, so ist der Strom, welcher durch die Rotation des Magnets entsteht,

$$S = \frac{2\mu w}{L} \dots (6).$$

Ist aber durch Contact, chemische Wirkung, Polarisation, ungleiche Erwärmung oder Induction noch eine weitere elektromotorische Kraft E in dem Schließungsbogen, so ist

$$S = \frac{2\mu w + E}{L} \dots (7).$$

7. Eliminirt man aus (3) und (6) oder (7) die Größe des Magnetismus, so erhält man

$$\text{aus (6)} \quad \mathfrak{A} = S^2 L \dots (8)$$

$$\text{aus (7)} \quad \mathfrak{A} = S(SL - E) \dots (9).$$

8. Kommt in der Leitung keine chemische Wirkung und keine magnetische vor, so daß E gleich Null ist, so besteht die ganze Wirkung des Stroms in Wärmeentwicklung. Die Größen dieser Wärmeentwicklung haben Lenz, Joule auf experimentellem, und Clausius auf theoretischem Wege proportional mit

$$S^2 L$$

gefunden. Hier habe ich die Arbeit, welche zur Hervorbringung dieses Stroms erfordert wird, gleich

$$S^2 L$$

gefunden. Es wird also wieder Wärme durch eine ihr proportionale Arbeit erzeugt.

9. Kommt eine chemische Wirkung vor, so muß E eine Bedeutung haben. Bei einer Wasserzersetzung zum Beispiel wird erstlich die Erwärmung des ganzen Schließungsbogen dieselbe bleiben; dazu gehört die

$$S^2 L;$$

dann wird durch die Gasentwicklung eine Quantität Wärme gebunden, d. h. eine bestimmte Arbeit verbraucht. Diese muß der gleich seyn, welche durch Verbrennen und Con-

densiren der entwickelten Gase wiedergewonnen werden kann. Nun ist die entwickelte Gasmenge proportional der Stromstärke S , und die davon zu erhaltende Arbeit also ebenfalls proportional mit S ; es muß daher die zur Zersetzung zu verwendende Arbeit ebenfalls proportional mit S seyn, gleich

$$E_1 S.$$

Die sich zeigende Polarisation habe die elektromotorische Kraft E_2 .

Damit ist die Arbeit, welche man für diesen Strom S anwenden muß,

$$\mathfrak{A} = S(SL + E_1 + E_2),$$

wo E_1 und E_2 gegen E negativ erscheinen, weil sie elektromotorische Kräfte sind, welche der durch den bewegten Magnetismus erregten entgegen wirken.

Bei dieser Auffassung ist übrigens $E_1 + E_2$ die elektromotorische Kraft, wie sie aus den Messungen der Polarisation sich ergab, und dort für die Polarisation gehalten wurde.

10. Bezieht man die hier gebrauchten Größen auf die Weber'schen Maafse, wie sie in den elektrodynamischen Maafsbestimmungen, insbesondere den Widerstandsmessungen Art. 10, festgestellt sind, so hat man keinen weiteren Coëfficienten in den Formeln (8) und (9) anzubringen, indem die Formeln (1) und (4) sich unmittelbar auf diese Weber'schen Maafse beziehen, worüber man am angeführten Orte Beilage D nachsehen kann. Will man andere der Anwendung nähere und deshalb bequemere einführen, so kann man hierzu folgende wählen.

Für den Strom kann man das von Jacobi gebrauchte chemische Maafs anwenden, nämlich als Stromeinheit die Stärke des Stroms, der in 1 Minute 1 Kubikcentimeter Gas aus Wasser entwickelt. Die Weber'sche Stromeinheit entwickelt in der Minute 1,0477 Kubikcentimeter Gas (Müller's Fortschritte der Physik I. S. 247).

Ist also S_1 die Stromstärke in chemischem Maafse eines Stroms, der nach Weber'schem die Stärke S hat, so ist

$$1,0477 S = S_1 \quad \text{oder}$$

$$S = \frac{S_1}{1,077}.$$

11. Der Leitungswiderstand wird für die Anwendung gewöhnlich gemessen durch die Länge in Metern eines Kupferdrahtes von 1^{mm} Durchmesser. Um die Weber'sche Einheit hierauf zu reduciren, gebrauche ich die Maafsbestimmung, welche Weber für den Jacobi'schen Etalondraht gegeben hat. Dieser ist (Elektrodynamische Maafsbestimmungen, in den Abhandl. der sächs. Gesellschaft der Wiss. S. 200) 7^m,61975 lang und 0^m,000667 dick. Sein Widerstand nach dem oben bezeichneten Maafse ist daher

$$\frac{7,61975}{(0,667)^2} = 17,127.$$

Weber bestimmt am angeführten Orte den Widerstand dieses Drahtes nach seinem absoluten Maafse (S. 252) gleich $598 \cdot 10^7$.

Ist somit L der Widerstand einer Leitung nach Weber'schem Maafse und L_1 der Widerstand derselben Leitung nach dem Jacobi'schem Maafse, so ist

$$\frac{L}{L_1} = \frac{598 \cdot 10^7}{17,127} \quad \text{und}$$

$$L = 34915 \cdot 10^4 \cdot L_1.$$

12. Der Magnetismus ist in den Weber'schen Formeln auf das von Gaußs gebrauchte Maafs bezogen, wonach der Magnetismus als Einheit genommen ist, welcher dem gleichen Magnetismus, der an die Masse 1 Milligramm geheftet ist, in der Entfernung 1 Millimeter die Beschleunigung 1 Millimeter ertheilt.

Will man hier als Einheit den Magnetismus einführen, welcher in der Entfernung 1 Millimeter den Druck 1 Kilogramm ausübt, und ist diese neue Einheit gleich μ_2 Einheiten der obigen Art, so hat man

$$\mu_2^2 = 1000\,000 \cdot g,$$

wo g die Beschleunigung der Schwere in Millimetern ist.

Ist derselbe Magnetismus nach dem Gaufs'schen und dem oben aufgestellten Maafse durch

$$\mu \text{ und } \mu_1$$

ausgedrückt, so hat man hiernach

$$\frac{\mu}{\mu_1} = \sqrt{1000\,000\,g} = 1000\sqrt{g}.$$

13. Die Arbeit wird bei Maschinen gewöhnlich durch Kilogramme, die 1 Meter hoch erhoben werden, angegeben. In den obigen Formeln ist die Krafteinheit die, welche der Masse von 1 Milligramm die Beschleunigung 1 Millimeter ertheilt. Dem Drucke von 1 Kilogramm entspricht daher eine Kraft, welche 1000 000 Milligramm die Beschleunigung g Millimeter ertheilt, das ist

$$1000\,000\,g.$$

Die oben bezeichnete Arbeitseinheit ist daher in der für die obigen Formeln gebrauchten Einheit

$$1000\,000\,g \cdot 1000.$$

Ist daher \mathfrak{A}_1 dieselbe Arbeit in Kilogrammmetern, welche oben durch \mathfrak{A} bezeichnet ist, so hat man

$$\frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{A}_1} = 10^9 \cdot g \quad \text{und}$$

$$\mathfrak{A} = 10^9 \cdot g \cdot \mathfrak{A}_1 = 9808 \cdot 10^9 \cdot \mathfrak{A}_1.$$

14. Nach diesen Vorbereitungen lassen sich nun die Formeln (6) und (8) nach dem neuen Maafse ausdrücken, wobei man erhält

$$\frac{S_1}{1,0477} = \frac{2 \cdot 1000\sqrt{9808} \cdot \mu_1 w}{34915 \cdot 10^4 \cdot L_1}$$

$$S_1 = 0,000\,5944 \frac{\mu_1 w}{L_1} \quad \dots \quad (10),$$

$$9808 \cdot 10^9 \cdot \mathfrak{A}_1 = \frac{S_1^2}{(1,0477)^2} \cdot 34915 \cdot 10^4 \cdot L_1$$

$$\mathfrak{A}_1 = 0,0000\,3243 S_1^2 L_1 \quad \dots \quad (11).$$

15. Nimmt man als Aequivalent der Wärmeeinheit die mechanische Arbeit, 420 Kilogrammmeter, so wird die Wärmemenge, welche der Strom S_1 in dem Leiter L_1 in einer Sekunde entwickelt, wenn diese der für den Strom verwendeten Arbeit aequivalent ist

$$W = \frac{q_1}{420} = \frac{0,0000\ 3243}{420} S_1^2 L_1$$

$$= 0,000\ 000\ 0772 S_1^2 L_1 \dots (12).$$

Als Einheit der Wärme ist hier die gebraucht, welche 1 Kilogramm. Wasser von 0° bis 1° C. erwärmt. Diese Formel (12) wird sich ebenso auf die Wärme im ganzen Kreise des elektrischen Stroms wie auf einzelne Theile desselben beziehen.

Fragt man wie mit dieser Formel die Erfahrung übereinstimme, so geben die Versuche von Lenz ein viel größeres Resultat. Aus diesen ist für die hier gebrauchten Einheiten von J. Müller (Fortschritte der Physik I. S. 381) berechnet, daß die Wärmeentwicklung durch den Strom S_1 im Leitungswiderstande L_1 in einer Minute

$$0,0000\ 176 S_1^2 L_1$$

betrage, woraus für die Sekunde

$$0,000\ 000\ 293 S_1^2 L_1$$

sich ergibt. Diefs ist etwa vier Mal so groß als oben berechnet ist. Ob die unzuverlässigen Reductionen der Lenz'schen Versuche und die Bemerkung von Lenz, daß die Versuche in dieser Beziehung nur zu ganz rohen Ueberschlägen führen können ¹⁾, diese Differenz hinreichend aufhellen oder ob andere Gründe derselben vorhanden, wage ich nicht zu entscheiden.

Stuttgart, im September 1853.

1) Diese Ann. Bd. LXI. S. 43.

**VI. Ueber die Herleitung der Formel für die Total-reflexion nach Fresnel und Cauchy;
von Beer in Bonn.**

Erstens.

Wenn wir dieselbe Bezeichnung und dieselbe Lage der Coordinatenaxen wie in unseren letztvorhergegangenen Abhandlungen über die Reflexionsformeln beibehalten, so genügt, wie Cauchy gefunden hat, zur Begründung jener Formeln in dem Falle, wo die brechenden Mittel zu einander im Verhältnisse der Neutralität stehen, der Bestand der folgenden vier Gleichungen:

$$1) S \frac{d\zeta}{dz} = S \frac{d\zeta'}{dz}, \quad 2) S \left(\frac{d\xi}{dz} - \frac{d\zeta'}{dx} \right) = S \left(\frac{d\xi'}{dz} - \frac{d\zeta'}{dx} \right),$$

$$3) S \frac{d\eta}{dz} = S \frac{d\eta'}{dz}, \quad 4) S \frac{d\eta}{dx} = S \frac{d\eta'}{dx};$$

und zwar kann man hierbei ganz von den verschwindenden Strahlen absehen und nur die drei gewöhnlichen Strahlen mit geradlinigen transversalen Schwingungen in die Betrachtung eingehen lassen. Man erhält so ohne Weiteres aus den obigen Gleichungen die Fresnel'schen Formeln für gewöhnliche Reflexion. Man überzeugt sich leicht davon, daß die Endgleichungen, die wir in unserer Herleitung der letzteren Formeln erhalten haben, mit den obigen vier Gleichungen zusammenfallen. Jene Fresnel'schen Formeln verlieren bekanntlich ihre Gültigkeit, sobald totale Reflexion eintritt. Dies hängt damit zusammen, daß alsdann die Lichtbewegung im zweiten Mittel von der Natur der Bewegung in verschwindenden Strahlen wird, d. h. daß die Aethertheilchen in den gebrochenen senkrecht zur brechenden Fläche stehenden Wellen im Allgemeinen nicht mehr geradlinig und transversal oscilliren, sondern vielmehr ähnliche und ähnlich liegende Ellipsen beschreiben, deren

Ebenen auf den Wellenebenen und der brechenden Fläche senkrecht stehen, sowie ferner, daß die Amplituden in geometrischem Verhältnisse abnehmen, wenn man sich auf einem Einfallslothe in arithmetischem Verhältnisse von der brechenden Fläche in dem zweiten Mittel entfernt. Cauchy giebt nun (Diese Ann. Bd. 39) für den Extinctionscoëfficienten der letzterwähnten Strahlen, die wir, um Verwirrung zu vermeiden, *streifende Strahlen* nennen werden, den Werth $\frac{2\pi}{\lambda'} \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}$ an, wo in Uebereinstimmung mit unserer früheren Bezeichnung λ' die Wellenlänge im zweiten Mittel, i die Incidenz und n den Brechungsindex für den Uebergang aus dem zweiten Mittel ins erste bedeutet. Diese Annahme genügt, um mittelst der Gleichungen 1) bis 4) die Fresnel'sche Formel für die Totalreflexion abzuleiten, wie sogleich gezeigt werden soll.

Die Componenten des einfallenden Strahles seyen wie in unseren früheren Mittheilungen bei senkrecht zur Einfallsebene polarisirtem Lichte

$$\xi_i = a_i \cos i \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + J \right],$$

$$\zeta_i = a_i \sin i \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + J \right] \text{ für } E_i = -z \cos i + x \sin i,$$

die des gespiegelten Strahles seyen:

$$\xi_r = a_i \cos i \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + L \right],$$

$$\zeta_r = -a_i \sin i \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + L \right] \text{ für } E_i = z \cos i + x \sin i,$$

endlich die des streifenden Strahles:

$$\xi_s = r_s l'' \cos \frac{2\pi}{l'} (\nu t - x \sin i_s),$$

$$\zeta_s = i_s l'' \sin \frac{2\pi}{l'} (\nu t - x \sin i_s) \text{ für } d = \frac{2\pi}{\lambda'} \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}.$$

Hiernach sind die den Gleichungen 1) und 2) entsprechenden Bedingungsgleichungen für jeden Punkt der Trennungsfläche und jede Zeit:

$$\text{I. } \frac{2\pi}{\lambda} \sin i \cos i [a_i \cos(V+J) + a_i \cos(V+L)] = d_{\frac{1}{2}} \sin V,$$

$$\begin{aligned} \text{II. } & \frac{2\pi}{\lambda} \cos i^2 [a_i \cos(V+J) - a_i \cos(V+L)] \\ & + \frac{2\pi}{\lambda} \sin i^2 [a_i \cos(V+J) - a_i \cos(V+L)] \\ & = d_{\frac{1}{2}} \cos V + \frac{2\pi}{\lambda} \sin i_{\frac{1}{2}} \cos V. \end{aligned}$$

Hier steht V für die nothwendig einander gleichen Ausdrücke $\frac{2\pi}{\lambda} (vt - x \sin i)$, $\frac{2\pi}{\lambda} (y, t - x \sin i)$. Setzen wir noch $\frac{2\pi}{\lambda} \cos i = \mu$, so lassen sich die letzten Gleichungen auch so schreiben:

$$\text{I'. } \mu \sin i [a_i \cos(V+J) + a_i \cos(V+L)] = d_{\frac{1}{2}} \sin V,$$

$$\text{II'. } a_i \cos(V+J) - a_i \cos(V+L) = \left(\frac{\lambda}{2\pi} d_{\frac{1}{2}} + \sin i_{\frac{1}{2}} \right) \cos V.$$

Indem wir nun in diese Gleichungen der Reihe nach für V die Werthe 0 und $\frac{\pi}{2}$ einsetzen, finden wir, wenn noch zur Abkürzung $a_i \sin J = \alpha_i$, $a_i \cos J = v_i$, $a_i \sin L = u_i$, $a_i \cos L = v_i$ gesetzt wird, folgende Beziehungen:

$$1) v_i + v_i = 0$$

$$2) \mu \sin i (u_i + u_i) = -d_{\frac{1}{2}}$$

$$3) v_i - v_i = \frac{\lambda}{2\pi} d_{\frac{1}{2}} + \sin i_{\frac{1}{2}}$$

$$4) u_i - u_i = 0.$$

Hiernach ist also (1 und 4):

$$a_i^2 = a_i^2,$$

d. h. die Intensitäten des reflectirten und einfallenden Strahles sind einander gleich.

Setzen wir $a_i = -a_i$, so ist wegen 1 und 4 zu setzen:

$$L = -J.$$

Mit Rücksicht auf die gefundene Gleichheit von a_i^2 und a_i^2 liefern ferner die beiden mittleren Gleichungen:

$$2u_i = \frac{-d_{\frac{1}{2}}}{\mu \sin i} = \frac{-\sqrt{n^2 \sin i^2 - 1}}{n \sin i \cos i} \frac{1}{2},$$

$$2v_i = \frac{\lambda}{2\pi} d_{\frac{1}{2}} + \sin i_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} \sqrt{n^2 \sin i^2 - 1} \frac{1}{2} + \sin i_{\frac{1}{2}}.$$

Also ist:

$$\frac{u_i}{v_i} = \tan J = \frac{-\sqrt{n^2 \sin^2 i - 1} \cdot \xi_r}{x_r \sin i \cos i \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1} + n \sin^2 i \cos i \xi_r}.$$

Setzt man nun $x_r : \xi_r = -d : \frac{2\pi}{\lambda} \sin i$, oder

$x_r = -\sqrt{n^2 \sin^2 i - 1} \cdot a_r$, $\xi_r = n \sin i \cdot a_r$, so kommt:

$$\tan J = -\frac{n \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}}{\cos i}.$$

Die Gleichung 2 bestimmt endlich noch den Werth von a_r ; es ist nämlich:

$$a_r = \frac{2n \cos i}{\sqrt{n^4 \sin^2 i + \cos^2 i - n^2}} \cdot a_i.$$

Indem wir die gefundenen Resultate zusammenfassen, ergeben sich uns für den einfallenden, gespiegelten und streifenden Strahl bei senkrecht zur Einfallsebene polarisirtem Lichte folgende Gleichungen:

$$\varrho_i = a_i \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i)$$

$$\varrho_r = -a_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + L_1 \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi_r = x_r e^{i\nu t} \cos \left[\frac{2\pi}{l_r} (\eta_r t - x \sin i_r) + R_1 \right] \\ \zeta_r = \xi_r e^{i\nu t} \sin \left[\frac{2\pi}{l_r} (\eta_r t - x \sin i_r) + R_1 \right], \end{array} \right\}$$

wenn man hat:

$$\tan L_1 = \frac{n \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}}{\cos i} = \tan R_1,$$

$$d = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1},$$

$$x_r = -\sqrt{n^2 \sin^2 i - 1} \cdot a_r, \quad \xi_r = n \sin i \cdot a_r,$$

$$a_r = \frac{2n \cos i}{\sqrt{n^4 \sin^2 i + \cos^2 i - n^2}} \cdot a_i.$$

Wenn das einfallende und somit auch das gebrochene Licht in die Einfallsebene polarisirt ist, so werden die Gleichungen jener beiden Lichte:

$$\eta_i = b_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + J \right]$$

$$\eta_r = b_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + L \right],$$

und die Gleichung des streifenden Strahles wird die Form haben:

$$\eta_r = b_r e^{i\pi} \sin \frac{2\pi}{\lambda} (v' t - x \sin i').$$

Von unseren Bedingungsgleichungen entsprechen diesem Falle die beiden letzten; diese werden hier:

$$\text{I. } \mu [b_i \cos(V+J) - b_r \cos(V+L)] = db_r \sin V,$$

$$\text{II. } b_i \cos(V+J) + b_r \cos(V+L) = b_r \cos V.$$

Aus diesen Gleichungen folgt für bezüglich $V=0$ und $V=\frac{\pi}{2}$:

$$1) \quad v_i - v_r = 0$$

$$2) \quad \mu(u_i - u_r) = -db_r,$$

$$3) \quad v_i + v_r = b_r,$$

$$4) \quad u_i + u_r = 0.$$

Die erste und letzte Gleichung lassen ersehen, *dass auch hier das gespiegelte Licht die volle Intensität des einfallenden zeigt*. Setzen wir demgemäß $b_i = b_r$, so ist ferner $L = -J$ zu setzen. Die beiden mittleren Gleichungen schreiben sich wie folgt:

$$2u_i = -\frac{db_r}{\mu},$$

$$2v_i = b_r.$$

Hieraus ergibt sich;

$$\frac{u_i}{v_i} = \tan J = -\frac{d}{\mu} = -\frac{\sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}}{n \cos i}.$$

Endlich findet man noch mit Rücksicht auf den Werth von $\tan J$:

$$b_r = \frac{2n \cos i}{\sqrt{n^2 \sin^2 i + n^2 - 1}}.$$

Wenn hiernach

$$\varrho_i = b_i \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - E_i)$$

die Gleichung des einfallenden in die Einfallsebene polarisirten Strahles ist, so wird der gespiegelte und streifende Strahl durch folgende Gleichungen dargestellt:

$$\varrho_i = b_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\vartheta t - E_i) + L_2 \right],$$

$$\varrho_r = b_r e^{i\alpha} \sin \left[\frac{2\pi}{t_r} (\vartheta'_r - x \sin i'_r) + R_2 \right],$$

wenn man setzt:

$$\tan \frac{1}{2} L_2 = \frac{\sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}}{n \cos i} = \tan R_2,$$

$$d = \frac{2\pi}{\lambda'} \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1},$$

$$b_r = \frac{2n \cos i}{\sqrt{n^2 \sin^2 i + n^2 - 1}} \cdot b_i.$$

Die Verbindung der beiden Formeln für $\tan \frac{1}{2} L_1$ und $\tan \frac{1}{2} L_2$, welche Cauchy bereits im Jahre 1836 veröffentlicht hat, liefert den Ausdruck für den Phasenunterschied der Componenten im gespiegelten Strahle, wie er von Fresnel zuerst gefunden wurde. Bezeichnen wir nämlich jenen Unterschied durch δ , so ist:

$$\begin{aligned} \delta &= L_1 - L_2, \\ \tan \frac{\delta}{2} &= \frac{\tan \frac{1}{2} L_1 - \tan \frac{1}{2} L_2}{1 + \tan \frac{1}{2} L_1 \cdot \tan \frac{1}{2} L_2} \\ &= \frac{\cos i \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}}{n \sin^2 i}. \end{aligned}$$

Diesem Ausdruck können wir noch eine andere Gestalt geben, indem wir den kritischen Winkel I einführen, für den man hat $\sin I = \frac{1}{n}$; es ist nämlich auch:

$$\frac{\tan \frac{1}{2} \delta}{\cos i} = \frac{\sqrt{\sin(i - I) \sin(i + I)}}{\sin^2 i}.$$

Zweitens.

Cauchy hat darauf aufmerksam gemacht, daß der zuletzt gefundene Ausdruck in dem Falle einer Berichtigung bedarf, wo der Ellipticitätscoefficient nicht verschwindet, und eine dem entsprechende Formel aufgestellt. Letztere vermochten wir nicht zu erlangen, obgleich wir der Rechnung aller Wahrscheinlichkeit nach dieselben Prämissen zu Grunde legten wie Cauchy; wir finden nämlich:

$$\frac{\tan \frac{\delta}{2}}{\cos i} = \frac{\epsilon \sin I^2 + \sqrt{\sin(i-I)\sin(i+I)}}{\sin^2},$$

während Cauchy (*Compt. rend.* XXX.) angiebt:

$$\frac{\tan \frac{\delta}{2}}{\cos i} = \frac{\epsilon \sin i^2 + \sqrt{\sin(i-I)\sin(i+I)}}{\sin^2}.$$

Wir können die Vermuthung nicht ganz unterdrücken, es möchte sich bei der Mittheilung der letzten Formel ein Fehler eingeschlichen haben, und deshalb theilen wir nachfolgend unsere Rechnung mit, indem wir der Sache zu Liebe uns gerne der Gefahr aussetzen, *selbst* eines Irrthums gezeiht zu werden.

Um den allgemeinen Fall der Totalreflexion zu behandeln, muß man aus früher angegebenen Gründen die an der Spitze stehenden vier Bedingungsgleichungen aufgeben und zu den sechs allgemeinen Gleichungen übergehen, die im Anfange unserer letzten Mittheilung aufgeführt sind.

Wenn erstlich die *Oscillationen des einfallenden Lichtes der Einfallsebene parallel sind*, und wenn wir den streifenden Strahl durch die Gleichungen

$$\xi_r = x_r e^{i\pi} \cos \frac{2\pi}{l_r} (v_r t - x \sin i_r), \quad \zeta_r = \xi_r e^{i\pi} \sin \frac{2\pi}{l_r} (v_r t - x \sin i_r),$$

darstellen, so liefern jene erwähnten sechs Gleichungen die folgenden acht neuen Grundgleichungen:

- 1) $\cos i(u_i + u_r) + (x - x') \cos S = x_r$
- 2) $\cos i(v_i + v_r) - (x - x') \sin S = 0$
- 3) $\sin i(u_i - u_r) + (\xi - \xi') \sin S = 0$
- 4) $\sin i(v_i - v_r) + (\xi - \xi') \cos S = \xi_r$
- 5) $\mu \cos i(u_i - u_r) - (x c + x' c') \sin S = 0$
- 6) $\mu \cos i(v_i - v_r) - (x c + x' c') \cos S = d \cdot x_r$
- 7) $\mu \sin i(u_i + u_r) + (\xi c + \xi' c') \cos S = -d \cdot \xi_r$
- 8) $\mu \sin i(v_i + v_r) - (\xi c + \xi' c') \sin S = 0$

Wir setzen nun für die Verhältnisse der Größen $x \dots \xi'$ dieselben Werthe wie in unserer letzten Mittheilung und untersuchen, welches alsdann die Werthe von $u_i \dots a_i \dots x_r, \xi_r$ und S seyen, die obigen Gleichungen genügen.

Zunächst ergibt sich aus 3 und 5:

$$[\mu \cos i (\xi - \xi') + \sin i (x c + x' c')] \sin S = 0, \text{ oder:}$$

$$a, \left(\frac{K}{K'} c + \frac{K}{K'} c' \right) \sin S = 0.$$

Hieraus schliessen wir, dass für S einer der drei Werthe $0, \pm \pi$ zu setzen ist; wir wählen den ersteren und können dann für die obigen acht Gleichungen die sechs folgenden und einfacheren setzen.

$$1) \quad u_i - u_r = 0$$

$$2) \quad v_i + v_r = 0$$

$$3) \quad \cos i (u_i + u_r) + (x - x') = x_r$$

$$4) \quad \sin i (v_i - v_r) + (\xi - \xi') = \xi_r$$

$$5) \quad \mu \cos i (v_i - v_r) - (x c + x' c') = d \cdot x_r$$

$$6) \quad \mu \sin i (u_i - u_r) + (\xi c + \xi' c') = -d \cdot \xi_r$$

Die beiden ersten Gleichungen, welche $a_i^2 = a_r^2$ liefern, sagen uns, dass das gespiegelte Licht dem einfallenden an Intensität gleichkommt, und sie verrathen ferner, dass man bei der Annahme $a_i = -a_r$ auch $L = -J$ zu setzen habe. Mit Rücksicht hierauf, und wenn wir noch zur Abkürzung $x - x' = \alpha'$, $\xi - \xi' = \beta'$, $x c + x' c' = \gamma'$ und $\xi c + \xi' c' = \delta'$ setzen, können wir für die weiter zu behandelnden Gleichungen schreiben:

$$1) \quad 2u_i \cos i = x_r - \alpha'$$

$$2) \quad 2v_i \sin i = \xi_r - \beta'$$

$$3) \quad 2v_i \cdot \mu \cos i = d x_r + \gamma'$$

$$4) \quad 2u_i \cdot \mu \sin i = -d \xi_r - \delta'$$

Zuvörderst berechnet sich:

$$x_r = \frac{\alpha' \cdot \mu^2 \sin i - \beta' \cdot d \mu \cos i - \gamma' \cdot d \sin i - \delta' \cdot \mu \cos i}{(\mu^2 + d^2) \sin i}$$

$$\xi_r = \frac{\alpha' \cdot \mu d \sin i + \beta' \cdot \mu^2 \cos i + \gamma' \cdot \mu \sin i - \delta' \cdot d \cos i}{(\mu^2 + d^2) \cos i},$$

oder, wie die Substitution der Werthe von $\alpha' \dots \delta'$ (Siehe hierüber unsere letzte Mittheilung) in erster Annäherung liefert:

$$x_r = - \frac{n \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}}{\epsilon \sin^2 i (n^2 - 1)} \cdot \alpha'$$

$$\xi_r = \frac{n^2 \sin i}{\epsilon \sin^2 i (n^2 - 1)} \cdot \alpha',$$

wo $\alpha' = \varepsilon \sin i (K + K') a$, ist, wenn K, K' die Extinctions-coëfficienten der beiden Mittel sind, und ε den Ellipticitäts-coëfficienten für den Uebergang aus dem zweiten ins erste Mittel bedeutet. Es liefern aber ferner die beiden ersten Gleichungen:

$$2u_i = \frac{x_r - \alpha'}{\cos i}, \quad 2v_i = \frac{y_r - \beta'}{\sin i}, \quad \text{oder:}$$

$$2u_i = - \frac{n \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1} + \varepsilon \sin i^2 (n^2 - 1)}{\cos i} \cdot \frac{\alpha'}{\varepsilon \sin i^2 (n^2 - 1)}$$

$$2v_i = \frac{\alpha'}{\varepsilon \sin i^2 (n^2 - 1)},$$

woraus sich ergibt:

$$4a_i^2 = \frac{1}{\cos^2 i} [n^4 \sin^2 i + \cos^2 i - n^2 + p \cdot \varepsilon] \frac{\alpha'^2}{\varepsilon^2 \sin^4 i (n^2 - 1)^2},$$

wo $p = 2n(n^2 - 1) \sin i^2 \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}$ ist.

Man hat hiernach:

$$a_i^2 = \frac{4 \sin i^2 \cos^2 i (n^2 - 1)^2}{n^4 \sin^2 i + \cos^2 i - n^2 + p \cdot \varepsilon} \cdot \frac{1}{(K + K')^2} \cdot a_i'^2.$$

Die bisher vorgenommenen Entwicklungen bestimmen aber den streifenden Strahl, sowie die beiden verschwindenden Strahlen vollständig; es erübrigt, das Phasenverhältniß des einfallenden und reflectirten Strahles zu suchen. Hierfür hat man nach dem Obigen einfach:

$$\tan J = \frac{u_i}{v_i} = - \frac{1}{\cos i} [n \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1} + \varepsilon \sin i^2 (n^2 - 1)].$$

Fassen wir jetzt die gefundenen Resultate zusammen, indem wir schließlicly wie gewöhnlich die Phase des einfallenden Lichtes gleich Null setzen. Für *Oscillationen, die der Einfallsebene parallel sind, sey die Gleichung des einfallenden Strahles*

$$\varrho_i = a_i \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\sigma t - E_i).$$

Alsdann ist die Gleichung des total reflectirten Strahles:

$$\varrho_i = - a_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\sigma t - E_i) + L_i \right],$$

wenn man hat:

$$\tan \frac{1}{2} L_1 = \frac{1}{\cos i} [n \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1} + \varepsilon \sin^2 i (n^2 - 1)].$$

Die Gleichungen des streifenden Strahles sind:

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi_r = r_r e^{i\alpha} \cos \left[\frac{2\pi}{l_r} (v_r t - x \sin i_r) + R_1 \right] \\ \zeta_r = i_r e^{i\alpha} \sin \left[\frac{2\pi}{l_r} (v_r t - x \sin i_r) + R_1 \right] \end{array} \right\}$$

Hier ist:

$$d = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1},$$

$$\tan R_1 = \frac{1}{\cos i} [n \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1} + \varepsilon \sin^2 i (n^2 - 1)],$$

$$r_r = -\frac{n \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}}{\sin i (n^2 - 1)} (K + K') a_i, \quad i_r = \frac{n^2 - 1}{n^2} (K + K') a_i,$$

$$a_i = \frac{2 \sin i \cos i (n^2 - 1)}{\sqrt{n^4 \sin^2 i + \cos^2 i - n^2 + p} \cdot \varepsilon} \cdot \frac{1}{K + K'} \cdot a_i,$$

$$p = 2n(n^2 - 1) \sin^2 i \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}.$$

Endlich sind die Gleichungen für die beiden verschwindenden Strahlen:

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi_i = \frac{2\pi}{\lambda} \sin i \cdot \frac{K'}{K} \cdot e^{-i\alpha} \cdot a_i \cos \left[\frac{2\pi}{l} (v t - x \sin i) + S_1 \right] \\ \zeta_i = c \cdot \frac{K'}{K} \cdot e^{-i\alpha} \cdot a_i \sin \left[\frac{2\pi}{l} (v t - x \sin i) + S_1 \right] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi'_i = \frac{2\pi}{\lambda} \sin i \cdot \frac{K}{K'} \cdot e^{i\alpha} \cdot a_i \cos \left[\frac{2\pi}{l'} (v' t - x \sin i') + S_1 \right] \\ \zeta'_i = -c' \cdot \frac{K}{K'} \cdot e^{i\alpha} \cdot a_i \sin \left[\frac{2\pi}{l'} (v' t - x \sin i') + S_1 \right] \end{array} \right\}$$

Hier ist außer dem schon angegebenen Werthe von a_i zu setzen:

$$\tan S_1 = \frac{1}{\cos i} [n \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1} + \varepsilon \sin^2 i (n^2 - 1)],$$

$$c = \sqrt{K^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda} \sin i \right)^2}, \quad c' = \sqrt{K'^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda} \sin i \right)^2}.$$

Sehr einfach gestalten sich die Sachen, wenn die Schwingungen senkrecht zur Einfallsebene zu stehen kommen. Es muß alsdann von den verschwindenden Strahlen Abstand

genommen werden, und da überdies in diesem Falle die allgemeineren Bedingungsgleichungen für die Bewegung an der Trennungsfläche mit denjenigen zusammenfallen, welche für die neutrale Reflexion gelten, so folgt, *dafs die Formeln der letzteren sich hier ohne Weiteres auf den allgemeinen Fall übertragen.* Ins Besondere hat man nach dem Früheren für die Phase L_2 des gespiegelten Strahles, die des einfallenden gleich Null gesetzt:

$$\operatorname{tang} \frac{1}{2} L_2 = \frac{\sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}}{n \cos i}.$$

Indem wir diese Formel mit der für L_1 verbinden, finden wir für den Phasenunterschied δ der beiden Componenten des gespiegelten Strahles:

$$\begin{aligned} \operatorname{tang} \frac{\delta}{2} &= \frac{\frac{n w + \varepsilon \sin i^2 (n^2 - 1)}{\cos i} - \frac{w}{n \cos i}}{1 + \frac{n w + \varepsilon \sin i^2 (n^2 - 1)}{\cos i} \cdot \frac{w}{n \cos i}} \\ &= \cos i \cdot \frac{w + n \varepsilon \sin i^2}{n \sin i^2 + \varepsilon \sin i^2 w} \quad \text{für } w = \sqrt{n^2 \sin^2 i - 1}. \end{aligned}$$

In erster Annäherung folgt hieraus:

$$\begin{aligned} \operatorname{tang} \frac{\delta}{2} &= \frac{\cos i}{\sin i^2} \left[\frac{w}{n} + \varepsilon \left(\sin i^2 - \frac{w^2}{n^2} \right) \right] \\ &= \frac{\cos i}{\sin i^2} \left(\frac{w}{n} + \frac{\varepsilon}{n^2} \right). \end{aligned}$$

Führen wir den kritischen Winkel I ein, so ist:

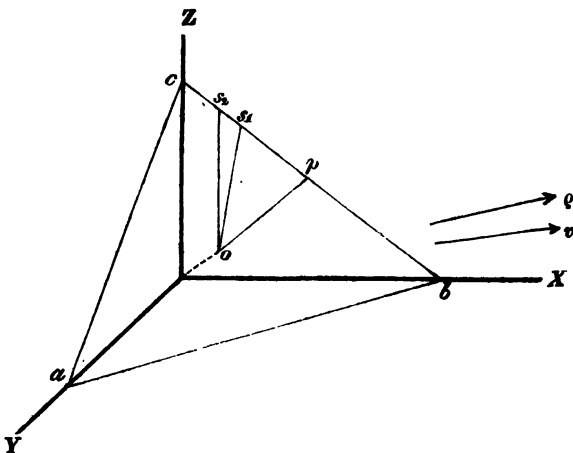
$$\operatorname{tang} \frac{\delta}{2} = \frac{\varepsilon \sin I + \sqrt{\sin(i-I) \sin(i+I)}}{\sin i^2} \cos i.$$

Schließlich dürfen wir nicht verfehlen darauf aufmerksam zu machen, *dafs* in den auf unseren Gegenstand bezüglichen Formeln, welche in Jamin's *Mémoire sur la réflexion totale* (*Ann. de Ph. et de Ch.*) vorkommen, und welche in die deutschen Zeitschriften übergegangen sind, in dem Nenner I mit i zu vertauschen ist.

VII. *Ueber die Dispersion der Hauptschnitte zweiaxiger Krystallplatten, sowie über die Bestimmung der optischen Axen durch Beobachtung der Hauptschnitte; von Beer in Bonn.*

Die Dispersion der optischen Axen in zweiaxigen Krystallen bedingt begreiflicherweise im Allgemeinen auch eine Dispersion der Hauptschnitte einer Platte, die aus einem solchen Krystalle geschnitten wird. In beiweitem den meisten Fällen wird diese Dispersion freilich nur sehr klein und für den Versuch verschwindend seyn, ich überzeugte mich aber durch die Rechnung, dafs sie bei dem Seignettesalz, das mit einer so enormen Axendispersion begabt ist, nothwendig sehr deutlich auftreten müsse und fand dies auch durch die Beobachtung bestätigt. Da das soeben erwähnte Factum meines Wissens noch nicht besprochen worden ist, so erlaube ich mir hier etwas näher darauf einzugehen.

Die X-Axe eines rechtwinkligen Coordinatensystemes falle mit der ersten Mittellinie (Brachydiagonale), die Z-Axe mit der zweiten Mittellinie (Hauptaxe) eines Seignettesalz-Krystalles zusammen. Man lege nun eine Ebene abc



so, daß sie gegen die drei Axen gleich geneigt ist, und suche ihre Hauptschnitte, wie sie den Axen für rothes und für violettes Licht entsprechen, auf. Die Trage eines dieser Hauptschnitte für violettes Licht sey os_1 , der entsprechende Hauptschnitt für rothes Licht os_2 , unter o den Mittelpunkt des Dreiecks abc verstanden. Läßt man nun von o das Perpendikel op auf die Seite bc herab, so ist, die von Herschel gemessenen Axenwinkel 56° und 76° zu Grunde gelegt:

$$pos_1 = 36^\circ 27,5', pos_2 = 41^\circ 6',$$

woraus sich ergibt:

$$s_1 os_2 = 4^\circ 38,5'.$$

Die Dispersion der Hauptschnitte für rothes und violettes Licht beträgt also nicht weniger als $4\frac{1}{2}^\circ$, ein Resultat, das sich durch die folgende Beobachtung verificirt.

Man lege eine Platte des erwähnten Salzes, so geschnitten, daß sie nahezu die Richtung der Ebene abc hat, auf das Tischchen des Polarisationsapparates in solcher Lage, daß die Oscillationsebene des einfallenden Lichtes möglichst genau mit einem Hauptschnitte zusammenfällt, und nähere hierauf die Oscillationsebene des Analysators der zur Oscillationsebene des Polarisators senkrechten Lage. Alsdann und indem man über diese Lage hinausgeht, beobachtet man eine wechselnde Färbung der Platte. Bei einem gewissen Sinne der Drehung nimmt man zuerst eine aus Weiß sich entwickelnde blaue Färbung wahr, die durch dunkeln Purpur in Orange übergeht, welches Letztere sich allmählig wieder ins Weiß verwäscht. Die erste Färbung entsteht, wenn die Oscillationsebene des Analysators senkrecht zum Hauptschnitte der minder brechbaren Strahlen steht; kommt dieselbe senkrecht auf den Hauptschnitt der mittleren Strahlen zu stehen, so vereinigen sich die Gränzen der Spectralfarben zu Purpur, und wenn die erwähnte Oscillationsebene zuletzt auf den Hauptschnitt der brechbareren Strahlen sich senkrecht stellt, so setzen sich die nicht ausgelöschten minder brechbaren Farben zu Orange zusammen.

Das Obige bietet uns Gelegenheit zur Mittheilung der folgenden Bemerkungen, die sich auf die wechselseitige Beziehung der Hauptschnitte und der optischen Äxen von Platten, welche aus demselben Krystalle geschnitten sind, beziehen.

Die Gleichungen der Hauptschnitte einer zweiaxigen Krystallplatte, bezogen auf drei rechtwinklige Axen, seyen:

$$E_1 \equiv u_1 x + v_1 y + w_1 z = 0, \quad E_2 \equiv u_2 x + v_2 y + w_2 z = 0.$$

Die Gleichungen zweier Ebenen, die durch die Normale der Platte gehen und mit jedem der Hauptschnitte E gleiche Winkel bilden, welche zwei Ebenen dann die optischen Axen aufnehmen können, haben alsdann die Form:

$$E_1 \equiv E_1 + \lambda E_2 = 0, \quad E_2 \equiv E_1 - \lambda E_2 = 0.$$

Sind die Gleichungen der optischen Axen:

$$[x = pz, y = qz] [x = p'z, y = q'z],$$

so muß, wenn die Ebenen E je eine dieser Axen aufnehmen sollen, seyn:

$$\frac{E_1}{E_2} [x = pz, y = qz] + \frac{E_1}{E_2} [x = p'z, y = q'z] = 0,$$

oder:

$$(u_1 p + v_1 q + w_1)(u_2 p' + v_2 q' + w_2) + (u_1 p' + v_1 q' + w_1)(u_2 p + v_2 q + w_2) = 0.$$

Bestimmt man nun die Hauptschnitte von drei weiteren Platten, so erhält man zur Bestimmung von p, q, p', q' , also der optischen Axen, die nothwendigen vier Gleichungen. Um die optischen Axen mittelst der Hauptschnitte aufzusuchen, sind also im Allgemeinen vier Bestimmungen nothwendig. Aber die letzteren liefern die Axen noch nicht auf unzweideutige Weise. Sind nämlich f, φ, ψ etc. lineare Functionen von p' und q' , so haben die Bestimmungsgleichungen die Form:

$$pf + q\varphi + \psi = 0, \quad pf' + q\varphi' + \psi' = 0, \\ pf'' + q\varphi'' + \psi'' = 0, \quad pf''' + q\varphi''' + \psi''' = 0.$$

Hieraus ergibt sich zur Bestimmung von p' und q' :

$$-(\psi\varphi' - \psi'\varphi)f'' + (\psi f' - \psi' f)\varphi'' + (f\varphi' - f'\varphi)\psi'' = 0, \\ -(\psi\varphi' - \psi'\varphi)f''' + (\psi f' - \psi' f)\varphi''' + (f\varphi' - f'\varphi)\psi''' = 0.$$

Da diese Gleichungen vom dritten Grade sind, so erhält man durch die erwähnte Bestimmungsweise neun analytisch mögliche Axenpaare, von denen wenigstens eines reell ist.

Wenn im Besonderen die Normale der optischen Axen bekannt ist, so sind nur zwei Bestimmungen nothwendig, welche vier analytisch mögliche Axenpaare liefern, von denen wenigstens zwei reell sind.

Nicht ganz unpractisch dürfte die Bestimmung der optischen Axen mittelst der Hauptschnitte bei gewissen rhombischen Krystallen erscheinen, z. B. dem Schwefel, den ich wenigstens sehr schwierig bei der Bearbeitung fand, und von dem es doch wohl gelingen dürfte einen octaëdrischen Krystall zu finden, durch den man senkrecht zu zwei Octaëderflächen hindurchsehen kann; auch bei allzukleinen Krystallen dürfte das Verfahren zum Ziele führen und jedenfalls würde durch dasselbe das Aufsuchen der Axen erleichtert. Wir halten aber das Verfahren bei rhombischen Krystallen deshalb für anwendbar, weil hier eine einzige Beobachtung zur vollständigen Bestimmung der Axen hinreicht (natürlich unterstellt, daß die beobachtete Platte alle drei Krystallaxen schneidet). Legen wir die Coordinatenaxen in die Krystallaxen, so ergeben sich hier die folgenden möglichen Fälle, wo jedesmal bei den Bedingungen entweder die oberen Zeichen \geq oder die unteren gleichzeitig zu nehmen sind.

Bedingungen.	Ebene d. A.	Gleichungen der Axen.
$u_1 u_2 \geq 0, v_1 v_2 \geq 0, w_1 w_2 \leq 0$	XY	$x=0, y=px; p=\pm \sqrt{\frac{u_1 u_2}{v_1 v_2}}$
$u_1 u_2 \geq 0, v_1 v_2 \leq 0, w_1 w_2 \geq 0$	XZ	$y=0, x=px; p=\pm \sqrt{\frac{w_1 w_2}{u_1 u_2}}$
$u_1 u_2 \leq 0, v_1 v_2 \leq 0, w_1 w_2 \geq 0$	YZ	$x=0, y=px; p=\pm \sqrt{\frac{w_1 w_2}{v_1 v_2}}$

Aus leicht begreiflichen Gründen erlangt man aus der Bestimmung der optischen Axen mittelst der Hauptschnitte

beiweitem nicht die Genauigkeit wie durch das directe Verfahren, und wird daher jene immer nur eine *ultima ratio* bleiben. Bei einer Platte, die gegen die drei Krystallaxen gleich geneigt ist, dreht sich ein Hauptschnitt nur um 30° , wenn der Winkel der optischen Axen von 0° bis 180° anwächst.

VIII. Ueber das Zerfließen und Verwittern der Salze; von P. Kremers.

Ein jedes Salz, welches innerhalb bestimmter Schwankungen des Wärme- und Feuchtigkeitszustandes der umgebenden Luft zerfließt, tritt bei allmählig gesteigerter Temperatur in den Zustand der Unveränderlichkeit oder Neutralität und gelangt, falls es gebundenes Wasser enthält, bei noch höherer Temperatur in einen dritten Zustand, den der Verwitterbarkeit. Die Aufeinanderfolge dieser drei Zustände ist für alle Salze gleich, dagegen erscheinen Lage und Umfang des Mittelzustandes der Neutralität bei den einzelnen Salzen oft sehr verschieden und bedingen dadurch, daß dieses Salz schon zerfließt, während jenes unter denselben Umständen noch neutral ist und ein drittes sogar verwittert.

Versucht man, darüber etwas festzustellen, was denn eigentlich die so verschiedene Lage des Mittelzustandes der Neutralität zunächst verursacht, so möchten solche Salze am ehesten darüber Aufschluß ertheilen, welche einen der drei Zustände in besonders hohem Grade zeigen. Vergleicht man z. B. miteinander die Salze, welche sich durch eine bedeutende Zerfließlichkeit auszeichnen, so sind es gewöhnlich Salze mit starken Säuren von oft hohem Atomgewichte, so daß die Vermuthung nahe liegt, es möchten die Salze in Anbetracht der Lage ihres Neutralitätszustan-

des ein Verhalten darbieten, wie es schon früher für die Lage ihres Nullpunktes dargethan wurde ¹⁾. Um nur einiges Wenige zu erwähnen, so sind unter den 17 überchlorsauren Salzen, deren Verhalten Gmelin in seinem Handbuche näher angiebt, 13 zerfließlich und nur 4 neutral.²⁾, wogegen andererseits unter den Salzen der eigentlichen Metalle mit hohem Atomgewichte Zerfließlichkeit nur eine seltene Erscheinung ist. Eine weitere Ausführung dieser Verhältnisse würde ganz das Gepräge der frühern Untersuchung über die Lage des Nullpunktes der Salze haben ³⁾, daher hier nur eine kurze Uebersichtstabelle die bisher aufgefundenen Vergleichungsreihen in sich vereinigt.

Die Anordnung der Tabelle ist so getroffen, daß jeder zuerst angeführte negative oder positive Körper sich mit jedem der rechts in gleicher Linie befindlichen Körper zu einer Gruppe von Salzen vereinigt, deren Verhalten bei gewöhnlichem Wärme- und Feuchtigkeitszustande der Luft durch die vorgesetzten Zeichen ⁴⁾ angedeutet ist. Die Wahl der Salze verdient in sofern noch Erörterung, als eigentlich nur solche Salze mit einander vergleichbar erscheinen, welche eine gleiche Anzahl Wasseratome enthalten; da indeß ein gewässertes Salz gewiß nicht zerfließlich seyn wird, wenn es schon im weniger gewässerten Zustande als neutral erscheint und ersteres ebenso wenig neutral seyn wird, wenn letzteres schon verwittert, so kann hier, während die Reihe der verglichenen Salze von den zerfließlichen zu den verwitternden binansteigt, die Anzahl der Wasseratome auch abnehmen, ohne dadurch die Vergleichung zu beeinträchtigen. Auch muß noch bemerkt werden, daß sämtliche Salze, welche kein Citat begleitet, dem Handbuche der Chemie von Gmelin entnommen sind und daß, wo keine

1) Pogg. Ann. Bd. 86, S. 384.

2) ClO_7 (— NaO ; — LiO ; — BaO ; — SrO ; — CaO ; — MgO ; — Al_2O_3 ; — MnO ; — ZnO ; — CdO ; — CuO ; — HgO ; — AgO ; 0 NH_4O ; 0 KO ; 0 PbO ; 0 Hg_2O).

3) l. c.

4) — = zerfließlich, 0 = neutral, + = verwitternd.

ausführliche Analyse vorgefunden wurde, dieß durch ? angedeutet ist.

Cl	— Li + 4 ¹⁾ 0 Na | 0 K
Cl	— Mg + 6 | — Ca + 6 | 0 Sr + 6 | 0 Ba + 2
Cl	— Mn | — Fe | — Co | — Ni | — Cu | — Zn | 0 Hg | 0 Pb | 0 Ag
Br	— Mg + 6 | — Ca + ? | 0 Sr + 6 | 0 Ba + 2
Br	— Mn | — Co | — Ni | — Cu | — Zn | 0 Hg | 0 Pb | 0 Ag
J	— Li + 6 ²⁾ 0 Na + 4 | 0 K
J	— Mg ? | — Ca ?
J	— Mn | — Ni | — Zn | 0 Hg | 0 Pb | 0 Ag
SO ₃	— Mg O | 0 Ca O | 0 Sr O | 0 Ba O
SO ₃	— Mn O | — Fe O | — Co O | — Ni O | — Cu O | — Zn O | 0 Pb O | 0 Ag O
NO ₃	— Li O | 0 Na O | 0 K O
NO ₃	— Mg O + 6 | — Ca O + 4 | 0 Sr O | 0 Ba O
NO ₃	— Mn O + 6 | 0 Co O + 6 | 0 Ni O + 6 | — Zn O + 6 | — Cd O + 4 | 0 Pb O | 0 Ag O
S ₂ O ₅	— Li O + 2 ³⁾ 0 Na O + 2 | 0 K O
S ₂ O ₅	0 Mg O + 6 | 0 Ca O + 4 | 0 Sr O + 4 | + Ba O + 4
ClO ₅	— Na O | 0 K O
Na O	— Cl O ₇ | 0 J O ₇
Sr O	— Cl O ₅ + 1 | 0 Br O ₅ + 1
Cu O	— Cl O ₅ + 2 | 0 Br O ₅ + 1

Die vorstehende Tabelle zeigt, wie der Neutralitätszustand eines Salzes, durch die Stärke der Säure und deren oft hohes Atomgewicht einerseits, andererseits durch das geringe Atomgewicht der Basis erhöht, alsbald wieder bis zur gewöhnlichen Temperatur und oft noch unter dieselbe sinkt, wenn jene Basis durch ähnliche von höherem Atomgewicht ersetzt wird; wie also die Lage des Neutralitätszustandes der Salze zugleich mit der Lage ihres Nullpunktes sich ändert. Es verdient wohl noch besonders hervorgehoben zu werden, daß die Gruppen einiger Säuren, wie sie in den drei letzten Zeilen der Tabelle angeführt sind, ein anscheinend widersprechendes Resultat liefern, indem hier gerade stets die Säure mit dem niedrigsten Atomgewicht den Neutralitätszustand am meisten erhöht, welcher Umstand um so bemerkenswerther ist, als auch bereits früher bei der Untersuchung der Lage des Nullpunktes der Salze auf ganz dasselbe Verhältniß hingedeutet wurde⁴⁾.

1) Des Raumersparnisses wegen wurde *ag* stets fortgelassen.

2) Rammelsberg, Pogg. Ann. 66, 79.

3) *ib.*

4) Pogg. Ann. 86, 388.

Bei der Bestimmung der Stärke dieser und ähnlicher Säuren ist daher außer der Höhe ihres Atomgewichtes auch noch das Verhältniß zu betrachten, in welchem der negativere zum positiveren Bestandtheil sich befindet.

Soweit über die Lage des Neutralitätszustandes der Salze. Was seinen Umfang betrifft, so ist derselbe mitunter so groß, daß nur bedeutende Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen ihn begränzen, bald kann er aber auch so klein werden, daß er sich der Beobachtung fast ganz entzieht, gleich wie auch bei einigen Körpern von einem eigentlichen Schmelzen nicht die Rede ist, wenn Sublimations- und Erstarrungspunkt sich bis zum Ueberdecken nähern ¹⁾).

Es ist mir keine Arbeit bekannt geworden, welche das Verhalten der Salze in gleichen, nebeneinander liegenden Temperatur- und Feuchtigkeitsintervallen zum Gegenstande hat, und da ich selbst bisher nicht Gelegenheit hatte, einzelne dahin zielende Versuche anzustellen, so beschränkt sich das Wenige, was hier darüber mitgetheilt werden kann, bloß auf das während der natürlichen Schwankungen der atmosphärischen Zustände Beobachtete.

Gmelin führt nur drei Salze an, deren jedes in diesem nicht unbedeutenden Intervalle alle drei Zustände zeigen kann ²⁾), dagegen 93 andere, welche das ganze Intervall hindurch nur im Mittelzustande der Neutralität erscheinen. Diesen Erfahrungen nach zu schließen wird also der Neutralitätszustand der Salze, dem flüssigen Zustande der Körper ähnlich, nur in seltenen Fällen durch Intervalle gemessen, welche kleiner sind als die natürlichen Schwankungen des Wärme- und Feuchtigkeitszustandes der Luft.

1) As; Ni Cl; Hg₂ Cl.

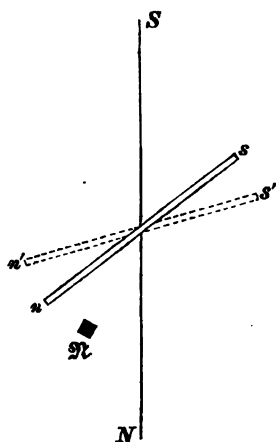
2) Na J + 4 aq; Ni Cl + 9 aq; Ni O, NO₂ + 6 aq;

IX. Versuch einer Erklärung der Ausdehnung der Körper durch die Wärme; von Adolph Fick in Zürich.

Nach der Annahme der Physiker unterscheiden sich zwei Masseneinheiten desselben Stoffes von verschiedener Temperatur nur dadurch, daß die Amplituden der Oscillationen, welche die intermolecularen Aetheratome ausführen, bei der wärmeren größer sind als bei der kälteren; und doch nimmt die wärmere einen größeren Raum ein, als die kältere, d. h. liegen in der wärmeren die constituirenden Molecule weiter aus einander. Die große Mehrzahl der Physiker ist nun wohl einverstanden mit der Ansicht von der Constitution der Materie, die im Wesentlichen Poisson seiner berühmten Abhandlung über die Begründung der Gleichgewichts- und Bewegungsgleichungen fester und flüssiger Massen (*Journal de l'école polytechnique* 20^{me} cah.) zu Grunde gelegt hat, und die in einem kleinen vor kurzem erschienenen Schriftchen von Wilhelmy (Versuch einer mathematisch physikalischen Theorie der Wärme, Heidelb. 1851) ausführlicher auseinandergesetzt worden ist. Nach dieser Anschauung ziehen sich alle ponderablen Atome gegenseitig an, und stoßen sich ebenso alle Aetheratome gegenseitig ab; zwischen einem ponderablen und einem Aetheratome hat Anziehung statt. Daher findet sich jedes ponderable Atom von einer verdichteten Aethersphäre umgeben, und die zwischen den Aethersphären stattfindende Abstossung kann unter Umständen die Anziehung der ponderablen Kerne überwiegen (gasförmiger Aggregatzustand). Man denke sich nun der Einfachheit wegen zwei Molecule A und B (ponderable Atome mit ihren Aethersphären) und dazwischen ein ruhendes Aetheratom c und es sey ferner durch irgendwelche Einrichtung keine andere Bewegung dieser drei Körper möglich als Verschiebung längs der ihre Mittel-

$A' A a c b B B'$ punkte verbindenden Geraden. Bei $\bigcirc \bigcirc \dots \bigcirc \bigcirc$ einem gewissen Molecularabstand AB wird nun Gleichgewicht statthaben zwischen den Abstofsungen, welche die beiden Aethersphären von A und B von c aus erfahren, und der gegenseitigen Anziehung ihrer ponderabelen Kerne, vermindert um die gegenseitige Abstofsung der beiden Aethersphären. Oscillirte nun das Aetheratom um die Gleichgewichtslage c zwischen den äußersten Gränzlagen a und b mit einer beträchtlichen Geschwindigkeit, so würden die beiden Körper A und B nicht mehr ihre ursprünglichen Gleichgewichtslagen beibehalten können. Da nämlich jedenfalls die Abstofsung zwischen zwei Aethertheilchen sehr viel rascher wächst als die gegenseitige Entfernung abnimmt, so wird der Ueberschuß der z. B. auf die Aethersphäre um A ausgeübten Abstofsung auf dem Wege von c nach a und wieder nach c zurück, über die von dem in c ruhenden Aetheratom ausgeübte, gröfser seyn als der Abgang an Abstofsung (unter jenes Mittel, was bei der Ruhe in c Statt hat), der bei der Bewegung von c nach b und wieder zurück nach c eintritt. Es werden also die Molecüle bei andauernder Oscillation von c neue Gleichgewichtslagen A' und B' suchen, die weiter von einander abstehen als die alten A und B .

Diese Betrachtung ist nun zu veranschaulichen durch einen sehr leicht anzustellenden Versuch, dessen Resultat sich von selbst verstehend sehr in die Augen fällt. Das Molecul A ersetzt man durch den Nordpol einer Magnetnadel von sehr grofser Schwingungsdauer, das Aetheratom c durch den Nordpol eines anderen Magnets, welches ein Pendel von sehr kleiner Schwingungsdauer bildet. Die Anziehung zwischen A und B wird repräsentirt durch die horizontale Componente des Erdmagnetismus. Die Anordnung des Versuchs ergibt sich leicht. Sey ns (s. umstehende Figur) die Magnetnadel durch den (in der Projection zum Quadrat verkürzten als Pendel auf zwei Spitzen aufliegenden) Magnetstab \mathfrak{N} aus dem magnetischen Meridian



dian SN abgelenkt — der Nordpol des Magnetstabes muß in derselben Ebene hängen, in welcher die Magnetnadel schwingt und natürlich das *untere* Ende des Pendels bilden. Versetzt man jetzt das magnetische Pendel in Oscillationen, so sieht man deutlich die Magnetnadel noch weiter vom Meridian abweichen und in einer Lage wie z. B. $n's'$ zur Ruhe kommen oder um dieselbe ganz kleine unregelmäßige Oscillationen ausführen.

Ich übersehe keineswegs die Schwierigkeiten, welche eine Verallgemeinerung der eben mitgetheilten Betrachtung über die Ausdehnung der Körper durch die Mittheilung von Oscillationen an den intermolecularen Aether (durch Wärmemittheilung) hat, daß man unterandern gezwungen wäre, anzunehmen, um die allseitige Ausdehnung zu erklären, daß die Oscillationen nach allen Richtungen des Raumes stattfanden. Indessen glaube ich doch, daß diese Betrachtung einer Prüfung durch den Calcul werth wäre, und erlaube mir dieselbe gewandteren Mathematikern vorzuschlagen ¹⁾.

-
- 1) Die ganze obige Betrachtung gründet sich, wie man leicht sieht, auf ein stillschweigend vorausgesetztes statisches Axiom, das mir neu zu seyn scheint, wenigstens habe ich dasselbe noch nirgend erwähnt gefunden. Dieses Axiom läßt sich ganz allgemein so aussprechen. Man stelle sich vor, daß ein mit einer gewissen Kraft begabter Punkt abwechselnd verschiedene Orte im Raume einnehme, und zwar seyen die sehr kurzen unmittelbar aufeinander folgenden Zeiträume, die er an den einzelnen Orten zubringt, beziehlich $= \vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$ etc.; auch soll er ferner bei jedem Male, daß er wieder an demselben Orte verweilt, wieder einen *gleichen* Zeitraum daselbst zubringen, endlich soll sich der Punkt an allen Orten gleich oft befinden. Seyen nun die einer gewissen Richtung parallelen Componenten der statischen Kraft, welche der Punkt bei längerem Verweilen an den verschiedenen Orten in einem

X. Ueber die Neeff'sche Lichterscheinung; von P. Riefs.

Als Dr. Neeff die Funken eines Magneto-Inductionsstromes, die zwischen einer Platinspitze und einer oscillirenden Platte übergingen, unter einem Mikroskope betrachtete, sah er eine merkwürdige Lichterscheinung. Je nachdem der Inductionsstrom, bei dem Oeffnen der den Eisenkern umgebenden Drahtrolle, die eine oder die andere Richtung hatte, leuchtete entweder die Spitze oder die Platte mit violettem Lichte, während die entgegenstehende Elektrode dunkel blieb. Der aus dieser Erscheinung gezogene Schluss, daß die Elektrizität an der negativen Elektrode wärmeloses Licht, an der positiven lichtlose Wärme erzeuge ¹⁾, ist auffallend genug, um eine erneute Untersuchung der Thatsache zu rechtfertigen.

Ich benutzte zu den folgenden Versuchen einen vortrefflichen kleinen Inductionsapparat aus der Werkstatt von Siemens und Halske, an dem die äußere, inducirte Drahtrolle, aus 5680 Windungen eines $\frac{1}{4}$ Millimeter dicken Kupferdrahtes gebildet, nur 30 Linien lang, 27 Lin. breit ist; die darein geschobene, innere Drahtrolle (469 Windungen eines 1 Mm. dicken Drahtes) ein Eisendrahtbündel umgiebt, und die oscillirende Zunge, die das voltaische Element

bestimmten Punkte des Raumes ausüben würde, bezüglich $= P_1, P_2, P_3$ etc. (so daß also während des Ortswechsels die Kraft P_n während des Zeitraumes ϕ_n allemal wirksam ist): dann ist die während des beschriebenen Vorganges in jenem Punkte wirksame statische Gesamtcomponente längs der angenommenen Richtung

$$= \frac{\phi_1 P_1 + \phi_2 P_2 + \phi_3 P_3 + \dots}{\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \dots}$$

Da dieses Axiom auch unabhängig von der in dieser Notiz mitgetheilten Hypothese über die Ausdehnung der Körper durch die Wärme vielleicht nicht ohne Interesse ist, so werde ich mich damit beschäftigen einen experimentellen Nachweis dafür zu liefern.

1) Diese Annalen Bd. 66, S. 414, Bd. 69, S. 141.

öffnet und schließt, durch einen kleinen Elektromagnet in Bewegung gesetzt wird. Ueber und unter der Zunge befindet sich eine Metallspitze an dem Ende einer Schraube; die beiden Spitzen und die mit ihnen in Berührung kommenden Stellen der Zunge bestehen aus einer wenig angreifbaren Metalllegirung. Wendet man nur die obere Spitze an, so erhält man bei jeder vollständigen Schwingung der Zunge Einen Inductionsstrom (es wird nur der bei Oeffnung der Kette erregte Strom betrachtet); wird auch die untere Spitze benutzt, wozu ein zweites voltaisches Element nöthig ist, so entstehen bei jeder Schwingung zwei Ströme. Diese Ströme können, durch die Stellung der beiden voltaischen Elemente, in gleicher oder entgegengesetzter Richtung erhalten werden.

Die Neeff'sche Lichterscheinung hat eine unverkennbare Aehnlichkeit mit einer elektrischen Erscheinung, die Faraday unter dem Namen der dunklen Entladung beschrieben hat (*experim. research. al.* 1544, Annalen 48. 430) und die neuerdings in Berlin und Paris auch mit den Funken des Magneto-Inductionsstromes dargestellt worden ist. Ich nahm einen niedrigen, an beiden Enden durch Metallfassungen geschlossenen Glascylinder, in dem zwei Messingkugeln von $4\frac{1}{2}$ Linien Durchmesser einander bis $\frac{1}{2}$ Linie genähert waren. Jede Kugel stand durch einen zolllangen Metallstiel mit einer der beiden Fassungen in Verbindung. Die Luft im Cylinder wurde bis 2 Linien Quecksilberdruck verdünnt, und der Cylinder, senkrecht aufgestellt, in den inducirten Draht des Inductionsapparates eingeschaltet. Als an diesem die eine Contactspitze mit dem Zink, die andere mit dem Kupfer von je einem Daniell'schen Elemente verbunden war, so daß die einander folgenden Inductionsströme entgegengesetzte Richtung hatten, wurden beide Kugeln und ihre Stiele mit einem wallenden hellblauen (lavendelblauen) Lichte bedeckt und die einander zugewandten Kuppen der Kugeln leuchteten mit einem glänzenden Tiefblau (Kornblumenblau). Die Umwendung des einen Stromes, durch welche beide Ströme gleichgerichtet

wurden, hatte zur Folge, daß nur eine bestimmte Kugel leuchtete, die andere vollkommen dunkel blieb. Belehrender wird der Versuch, wenn man an dem Inductionsapparate nur die obere Contactspitze gebraucht und in die Hauptschließung einen Inversor einschaltet. Man hat es dann in seiner Gewalt, abwechselnd die obere und untere Kugel im Cylinder leuchten zu lassen, während jedesmal die zweite Kugel dunkel bleibt, und überzeugt sich davon, daß die leuchtende Kugel stets die negative Elektrode ist, das heißt die Kugel, nach welcher der Strom im Cylinder übergeht. Noch einfacher lehrte dies ein Versuch an der gewöhnlichen Elektrisirmaschine. Der Glascylinder wurde so aufgestellt, daß $\frac{1}{4}$ Linie lange Funken von dem Conductor der Maschine auf die obere Fassung schlugen, während die untere zur Erde abgeleitet war. Bei positiver Elektrisirung des Conductors leuchtete die untere, bei negativer die obere Kugel im Cylinder. Es sey beiläufig bemerkt, daß, obgleich hier, wie früher, das blaue Licht dauernd die ganze Kugel und ihren Stiel bedeckte, und die entgegenstehende Kugel dunkel blieb, doch die Erscheinung einen weniger gefälligen Anblick gewährte, als bei dem Inductionsapparate, der durch Ein Daniell'sches Element mit sehr verdünnter Schwefelsäure erregt worden war. Es rührt dies davon her, daß die sonst vortreffliche Elektrisirmaschine, bei der Bewegung durch die Hand, die Ströme weniger regelmäßig auf einander folgen liefs, als der Inductionsapparat, bei welchem die Folge der Ströme durch die oscillirende Zunge regulirt wird.

Zur Hervorbringung der Neeff'schen Erscheinung ist die oscillirende Zunge nicht unmittelbar nöthig; ich habe sie an einem sehr einfachen Apparate beobachtet. Auf einem Brette ist ein Metallstück mit darauf gelötheter Platinplatte und darüber eine Schraube mit einer Platinspitze befestigt, so daß die Spitze der Platte beliebig genähert werden kann. Der Apparat wurde zwischen den Enden der inducirten Drahtrolle des Inductionsapparats eingeschaltet; ich beobachtete die Platinplatte und Spitze durch ein Mikroskop mit 45 maliger Vergrößerung, während ich die Schraube

behuhsam bewegte. Als die Entfernung der Spitze von der Platte so groß war, daß keine Funken übergingen, blieben beide dunkel; dasselbe war der Fall, als bei Verringerung der Entfernung der Strom überging, und die Funken als hellglänzende gebogene Lichtlinien erschienen. Bei fernerer Näherung von Spitze und Platte wurden die Funkenlinien gerade, folgten immer schneller auf einander und konnten nicht mehr einzeln unterschieden werden; plötzlich verlor der Funkenstrom seinen Glanz, wurde matt silberweiß, und zugleich leuchtete, je nach der Richtung des Stromes, an der Spitze oder Platte ein tiefblaues Licht auf. Dieses Licht bedeckte auf der Platte eine größere Fläche, an dem Schraubenende nur die äußerste Kuppe der abgerundeten Spitze. Nachdem diese spitzer gefeilt war, ging das Licht auch an die Seiten der Spitze hinauf. Eine sekundäre Erscheinung ist das Aufleuchten weißer Pünktchen, die in großer Menge im blauen Lichte, einzeln auch an der dunklen Elektrode erschienen und verschwanden. Diese Punkte sind glühende Platintheilchen und erschienen in weit geringerer Menge, als ich Platte und Spitze, statt aus Platin, aus der von Siemens und Halske gebrauchten Platinlegirung verfertigt anwendete. Am auffallendsten zeigte sich die Neeff'sche Lichterscheinung, wenn ich einen feinen Platindraht an der Schraube befestigte, und dessen Ende der Platte sehr nahe stellte; alsdann leuchtete die Platte, als negative Elektrode, mit tiefblauem Lichte, und der Draht, wenn er negative Elektrode war, wurde eine ansehnliche Strecke hinauf von dem blauen Lichte unflackert. Da diese Strecke über $\frac{1}{2}$ Linie betrug, so bedurfte ich das Mikroskop nicht mehr, und konnte mit unbewaffnetem Auge das blaue Licht deutlich an Spitze oder Platte erkennen.

Die beschriebenen Lichterscheinungen in freier Luft sind dem Ansehen nach identisch mit jenen, welche die Elektrizität in einem Glaszylinder hervorbringt, in welchem die Luft allmählich verdünnt wird, und es ist einzusehen, daß die beiden Erscheinungen auch dem Wesen nach identisch sind. Der elektrische Funke zerreißt die Luft und schleu-

dert auf seiner Bahn die Lufttheilchen fort. Indem der Funke zwischen einer Platte und dem Ende eines dagegen normal gerichteten Drahtes übergeht, entsteht unter der Drahtspitze auf der Platte ein luftverdünnter Raum, der durch die Luft an der Oberfläche des Drahtes wieder gefüllt wird, so daß, augenblicklich nach dem Funken, auch an dieser Oberfläche die Luft verdünnt seyn muß. Bei sparsamem Uebergange der Funken ist bei jedem Funken die Luftverdünnung aufgehoben, die der vorangehende erzeugt hat, und das Ansehen der Funken bleibt ungeändert; ist aber die Folge der Funken sehr schnell, so bleibt die Luft verdünnt, in welcher die Elektrizität an der negativen Elektrode als Glimmlicht, an der positiven als Büschel sichtbar wird. Das Glimmlicht ist stets mit einer Forttreibung von Luft verbunden und unterhält daher die erzeugte Luftverdünnung. Der auffallende Umstand, daß bei den gewöhnlichen Versuchen in freier Luft das Glimmen nur an Stellen von Leitern auftritt, die eine große elektrische Dichtigkeit besitzen und sich nicht durch Funken entladen können; hier im Gegentheile das Glimmen bedingt wird durch das Vorangehen von Funken, wird erklärlich, da dem Funkenstrome nur die Bestimmung zukommt, die Luftverdünnung einzuleiten. In der Neeff'schen Beobachtung an der Zunge des Inductionsapparats wird die Wirkung der Funken durch die oscillirende Zunge unterstützt, da die Funken in der verdünnten Luftwelle übergehen, welche der von der Spitze abgehenden Zunge folgt.

Nach dieser Erörterung giebt die Neeff'sche Lichterscheinung keinesweges den Beweis einer überall vorwaltenden Lichtentwicklung an der negativen Elektrode, sondern bleibt nur ein artiges Corollar zu der Erfahrung, daß in stark verdünnter Luft, und bei geringerer Entfernung zweier Elektroden, nur die negative Elektrode mit Glimmlicht bedeckt wird, indess bei geringer Verdünnung und größerer Entfernung auch die positive Elektrode glimmt. So liefs Faraday in einer Glocke Elektrizität zwischen 2 Metallstäben übergehen, deren Enden 4 Zoll von einander

standen, und sah beide Stäbe in einer Strecke von mehr als 1 Zoll mit Glimmlicht bedeckt; er sah eine positive elektrische Kugel glimmen, der eine negativ elektrisirte Spitze gegenüber stand. Die Luft war in der Glocke bis 4,4 Zoll Quecksilber verdünnt (*experim. research.* 1531. 29). Ist hiermit das Neeff'sche Phänomen im empirischen Sinn erklärt, das heisst auf eine früher bekannte Erscheinung zurückgeführt, so darf nicht vergessen werden, dafs diese bekannte Erscheinung sehr räthselhaft ist und noch immer ihre theoretische Erklärung erwartet.

XI. *Verbesserte Construction eines Apparates zur Erläuterung verschiedener Erscheinungen bei rotirenden Körpern; von G. Magnus.*

Bei Gelegenheit einer Untersuchung über die Abweichung der Geschosse, habe ich auf eine auffallende Erscheinung aufmerksam gemacht, welche bei rotirenden Körpern stattfindet, und einen Apparat ¹⁾ angegeben, der bestimmt ist so wohl die Bewegung der cylindroconischen Geschosse zu erläutern, als auch zu zeigen, dafs die Axe eines rotirenden Körpers nur dann fest erscheint, wenn sie vollständig frei ist, dagegen leicht beweglich wird, wenn man sie verhindert sich nach einer Richtung zu bewegen.

Diesen Apparat habe ich jetzt in veränderter Form ausführen lassen, so dafs er bequemer zum experimentiren ist, zugleich sind an demselben einige Abänderungen angebracht, durch welche es möglich ist die verschiedenen auffallenden Erscheinungen, welche bei rotirenden Körpern vorkommen, vollständiger als bisher darzustellen.

Die neue Construction ist in Fig. 12 und 13 auf Tafel III abgebildet. *AB* und *CD* sind zwei mit dicken Rän-

1) Poggendorff's Annalen Bd. LXXXVIII. S. 26.

dem versehene Scheiben aus Messing von 3,8 Zoll Durchmesser, die mit ihren Axen ab und cd zwischen Spitzen in den Bügeln $abfg$ und $cdhk$ leicht beweglich sind. Die Bügel sind an der Stange mn angebracht, welche durch die Schraube e in der Hülse os festgehalten wird, und mit dieser Hülse zwischen zwei, in dem gabelförmigen Stück pqr angebrachten Spitzen q und r um die horizontale Axe qr leicht beweglich ist. Das gabelförmige Stück wird von der runden, unten zugespitzten Axe vw getragen. Der ganze Apparat ruht daher auf der Spitze bei w , und ist folglich um die verticale wie um die horizontale Axe leicht beweglich.

Um entweder die eine oder die andere dieser Bewegungen hemmen zu können, ist das Messingstück pu bei p an dem gabelförmigen Stück pqr so befestigt, daß es durch die Schraube z leicht in die Höhe geschraubt werden kann, und dann gegen das an der Hülse os angesetzte halbkreisförmige Stück xy drückt. Dadurch ist es möglich mn in jeder Neigung gegen den Horizont zu fixiren. Löst man die Schraube z wieder, so sinkt das Stück pu durch seine Schwere und die Bewegung wird wieder frei.

Damit ferner auch die Bewegung um die verticale Axe gehemmt und außerdem entweder beschleunigt oder verzögert werden könne, ist bei u in das Stück pu noch ein Draht tu eingeschraubt.

Bei m und n lassen sich die Drähte ml und ni anhängen, in welche man verschiedene Gewichte P , die mit Haken versehen sind, einhängen kann.

Ein hölzerner Griff EF , an dem zwei gleich lange Schnüre bei E und F befestigt sind, dient dazu die beiden Scheiben AB und CD in Rotation zu versetzen. Indem man diese Schnüre auf die Axen der Scheiben entweder in gleichem oder in entgegengesetztem Sinne aufwickelt, und dann gleichzeitig abzieht, ist es möglich die Scheiben entweder in gleichem oder in entgegengesetztem Sinne rotiren zu lassen, und ihnen eine sehr nahe gleiche Geschwindigkeit zu ertheilen.

Setzt man beide in demselben Sinne in Rotation, so daß sie sich wie eine einzige Masse bewegen, und ist die Axe mn ganz frei beweglich, so beharrt dieselbe, wenn bei l und i gleiche, oder keine Gewichte angebracht sind, fest in ihrer Richtung. Ist auf der einen Seite ein größeres Gewicht vorhanden als auf der andern, so bewegt sich der Apparat um seine verticale Axe, und zwar, wenn das Uebergewicht bei m angebracht ist, in entgegengesetzter Richtung als wenn es in n wirkt. Auch versteht es sich von selbst, daß die Richtung der Bewegung verschieden ist, je nachdem die Rotation der Scheiben in dem einen oder in dem andern Sinne stattfindet. Bewegen sich dieselben in Bezug auf einen in der Verlängerung von mn befindlichen Beobachter, wie der Zeiger einer Uhr, und ist an dem Theile des Apparats, welcher dem Beobachter zugewandt ist, das Uebergewicht angebracht, so bewegt sich dieser Theil von der Rechten zur Linken jenes Beobachters.

Während dieser Bewegung um die verticale Axe ändert sich die Neigung gegen den Horizont kaum merklich; selbst wenn auf der einen Seite eine um zwei Pfund oder 1000 Grammes größere Belastung vorhanden ist als auf der andern. Beschleunigt man dann die Rotation um die verticale Axe, indem man den Stab tu mit der Hand herumführt, so hebt sich die belastete Seite, und umgekehrt senkt sich dieselbe, wenn man die Winkelgeschwindigkeit des Apparats verzögert. Hemmt man diese vollständig, indem man den Stab tu festhält, so fällt sogleich die belastete Seite herab und zwar so tief als möglich.

Läßt man den auf der einen Seite z. B. bei m belasteten Apparat frei um die verticale Axe rotiren und klemmt ihn, während seiner Bewegung, mittelst der Schraube z in der Neigung, die er gerade gegen den Horizont hat, fest, so hört die Drehung um die verticale Axe auf, beginnt aber, vorausgesetzt daß die Scheiben AB und CD noch in ihrer Rotation verharren, sogleich wieder, sobald man die Schraube z löst. Nur muß man sich hüten beim Lösen dieser Schraube die beginnende Rotation um die verticale

Axe aufzuhalten, weil sonst die belastete Seite des Apparats sogleich herabfällt.

Wenn diese Seite so tief fällt als sie fallen kann, d. i. bis eine der Hervorragungen x oder y gegen das Stück px schlägt, so hört die Drehung um die verticale Axe auf, weil die Bewegung um die horizontale Axe gehemmt ist. Hebt man dann aber die belastete Seite mit der Hand wieder in die Höhe, so beginnt auch sogleich wieder die Rotation um die verticale Axe. Dabei tritt dann gewöhnlich eine eigenthümliche Bewegung ein. Indem nämlich der Apparat um die verticale Axe rotirt, bewegt sich die belastete Seite pendelartig auf und nieder.

Wenn man statt diese Seite zu heben, den Stab tu mit der Hand im Kreise herumführt, und dadurch den ganzen Apparat um seine verticale Axe mit einer Geschwindigkeit dreht, die etwas größer ist als die, mit welcher er sich um dieselbe gedreht hätte, wenn die Bewegung um die horizontale Axe nicht gehemmt wäre; so hebt sich die belastete Seite von selbst und die Drehung um die verticale Axe geht dann von selbst weiter, vorausgesetzt dafs die Scheiben AB und CD noch mit hinreichender Geschwindigkeit rotiren.

Setzt man beide Scheiben AB und CD mit gleicher Geschwindigkeit aber nach entgegengesetzter Richtung in Rotation, so bleibt der Apparat, auch wenn seine Bewegung nach allen Richtungen ungehindert ist, leicht beweglich und das geringste Uebergewicht bei m oder n macht die stärker belastete Seite sogleich sinken. Rotirte nämlich nur die eine Scheibe, so würde der ganze Apparat in entgegengesetztem Sinne um die verticale Axe vw sich drehen, als wenn die andere Scheibe allein rotirte. Er wird daher nach zwei entgegengesetzten Richtungen um diese Axe gedreht, und da die beiden drehenden Kräfte gleich sind, so heben sie sich auf. Dadurch sind beide Drehungen um die verticale Axe gehemmt. Es tritt daher ganz dasselbe ein, wie wenn nur eine Scheibe rotirte, oder beide sich in gleichem Sinne bewegten und der Stab tu mit der Hand festgehalten würde.

Die sämmtlichen erwähnten Versuche kann man auch ausführen ohne Gewichte anzuwenden. Wenn nämlich die Schraube e gelöst wird, so läßt sich die Stange mn in der Hülse os hin und her schieben, so daß man dem Apparat die in Fig. 13 angedeutete Gestalt geben kann. Dann wirkt das Gewicht der Scheibe CD an einem längern Hebelarm als das der andern AB , und dadurch entsteht dieselbe Wirkung, wie wenn bei n Gewichte angehängt wären. Je größer dann die Differenz der beiden Hebelarme ist, um so schneller rotirt der Apparat.

Durch die Verschiebung von mn in der Hülse os ist es möglich, noch einen andern Versuch anzustellen. Sind nämlich die Entfernungen der rotirenden Scheiben von der verticalen Axe ow ungleich, und man setzt beide Scheiben in entgegengesetzter Richtung aber so viel als möglich mit gleicher Geschwindigkeit in Rotation, so ist der Apparat ganz leicht beweglich. Auch wenn man durch Gewichte bei m den kürzeren Schenkel so belastet, daß das Gleichgewicht hergestellt ist, so wird durch das geringste Uebergewicht, durch welches, wenn die Scheiben nicht rotiren, das Gleichgewicht gestört wird, dasselbe auch während der Rotation gestört. Hieraus geht hervor, was auch schon aus anderen Gründen einzusehen ist, daß die Entfernung, in welcher die rotirende Masse sich von der verticalen Axe befindet, von keinem oder von einem außerordentlich geringen Einfluß auf die Drehung des Apparats ist.

Da es zweckmäßig zu seyn scheint, diesen Apparat mit einem eignen Namen zu bezeichnen, so möchte ich, weil er für eine größere Anzahl von Versuchen über die Rotation benutzt werden kann, vorschlagen ihn ein *Polytropium* oder ein *Polytrop* zu nennen.

XII. Ueber die Metallreflexion an gewissen nicht-metallischen Substanzen; vom Prof. G. G. Stokes.

(*Phil. Magaz.* 1853, Vol. VI. p. 393.)

Im Octoberheft des *Phil. Magazine* findet sich eine Uebersetzung von einem Aufsatz des Hrn. Haidinger über die optischen Eigenschaften des *Herapathits*. In diesem Aufsatz bezieht sich derselbe auf eine Mittheilung, welche ich der Versammlung Britischer Naturforscher zu Belfast gemacht habe; und wirklich war ein Hauptzweck seiner Untersuchung zu sehen, ob ein von ihm entdecktes und schon vielfach bestätigtes Gesetz über den Zusammenhang der zurückgeworfenen und durchgelassenen Farben bei Körpern, wo diese Farben verschieden sind, sich auch bei dem erwähnten Salze bewähren würde. Der in Moigno's *Cosmos* ¹⁾ veröffentlichte Bericht von meiner Mittheilung verleitete ihn zu glauben, meine Beobachtungen ständen im Widerspruch mit seinem Gesetz.

Einige Beobachtung über das Safflor-Roth (*Carthamine*), welches ich auf seine Fluorescenz zu untersuchen veranlaßt war, lenkten meine Aufmerksamkeit zuerst auf diesen Gegenstand. Der Verfolg des Zusammenhangs, welchen ich zwischen dem Absorptionsvermögen und der Fluorescenz eines Mediums beobachtet hatte, führte mich besonders dahin, auf die Zusammensetzung des von dem Pulver durchgelassenen Lichtes zu achten, und dabei fand ich, daß das Medium, während es auf alle brechbareren Strahlen des sichtbaren Spectrums kräftig einwirkte, das grüne Licht mit merkwürdiger Energie absorbirte. Hiebei war mir die metallische gelbgrüne Reflexion an dieser Substanz sehr auffallend. Die fast metallische Opacität des Mediums in Bezug auf grünes Licht schien mir zusammenzuhängen mit der Reflexion eines grünlichen Lichtes von metallischem

1) Vol. I, p. 574.

Ansehen. In der That fand ich das Medium darin mit einem Metalle übereinstimmend, dafs es in der Vibrationsphase des winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirten Lichts eine Verzögerung gegen das in dieser Ebene polarisirte Licht bewirkte. Die Beobachtung wurde so angestellt, dafs ich Licht, welches in einem Azimuth von etwa 45° polarisirt war, nahezu unter dem Winkel des Polarisationsmaximum von der Oberfläche des zu untersuchenden Mediums reflectiren liefs, und das Licht durch ein Nicol'sches Prisma betrachtete, vor welchem eine rechtwinklich gegen die Axe geschnittene Kalkspathplatte befindlich war. Durch folgwiese Anwendung verschiedener absorbirender Media fand sich dann, dafs bei rothem Licht, für welches das Safflor-Roth vergleichungsweise transparent ist, die reflectirten Strahlen nahezu plan-polarisirt waren, während bei grünem und blauem Licht eine bedeutende Ellipticität auftrat.

Bei einem transparenten Medium würde das Licht, unter dem gehörigen Einfallswinkel, durch Reflexion ganz oder wenigstens sehr nahe polarisirt worden seyn. Wenn also das von einem Medium wie Safflor-Roth reflectirte Licht in zwei Bündel zerlegt würde, eins, das zur Unterscheidung das ordentliche genannt seyn mag, polarisirt in der Einfallsebene, und das andere oder auferordentliche, polarisirt winkelrecht gegen diese Ebene, so müfste das letztere Bündel beim Polarisationswinkel verschwinden, es sey dann, dafs die Reflexionsgesetze von denen bei durchsichtigen Substanzen abwichen. Folglich liefse sich erwarten, dafs das in dem auferordentlichen Bündel verbleibende Licht dem mit solcher Energie absorbirten Licht entschiedener verwandt seyn werde. Demgemäfs fand sich auch, dafs unter diesen Umständen das auferordentliche Bündel (beim Safflor-Roth) eine sehr reiche grüne Farbe besafs, während das Licht ohne Zerlegung gelbgrün war. Aehnliche Beobachtungen wurden am Eisenglanz gemacht.

Diese Erscheinungen erinnerten mich an eine Mitthei-

lung, die Sir David Brewster der Versammlung brittischer Naturforscher zu Southampton i. J. 1846 gemacht hatte ¹⁾, und beim Nachlesen seines Aufsatzes fand ich, daß die verschieden farbigen Bündel, der ordentliche und der außerordentliche, in dem vom Safflor-Roth reflectirten Licht dieselbe Erscheinung darboten, welche er beim chrysamminsauren Kali beschrieben hatte.

Die vorhin erwähnten Beobachtungen waren gegen Ende des J. 1851 gemacht. Als daher Dr. Herapath's erster Aufsatz über das neue Chininsalz erschien ²⁾, war ich vorbereitet, das reflectirte, metallisch grüne Licht mit einer intensiven Absorptionswirkung bezüglich der grünen Strahlen zu verknüpfen. Nachdem ich nach seinen Vorschriften einige Krystalle dargestellt hatte, war es mir leicht, den Fortschritt der Absorption bei Licht, welches in einer Ebene winkelrecht gegen die, wie man gewöhnlich sagt, längste Dimension der Krystallplatten polarisirt war, zu verfolgen und zu sehen, wie das Licht, bei vergrößerter Dicke, von Roth in Schwarz überging. Selbst der dickste dieser Krystalle war so dünn, daß er bei einem in der Längen-Ebene polarisirten Lichte kaum eine Farbe zeigte, das Resultat der Kreuzung zweier solchen Platten war daher für Jeden mit der Optik Vertrauten sehr auffallend. Die intensive Absorption war leicht mit der metallischen Reflexion verknüpft. Ein mündlicher Bericht von diesen Beobachtungen wurde in der Sitzung der *Cambridge Philosophical Society* vom 15. Mai 1852 gegeben, aber erst in der Versammlung der Brittischen Naturforscher zu Belfast, nachdem sie mit einigen Zusätzen zum zweiten Male beschrieben worden, wurde ein Abriss von ihnen veröffentlicht. Eine Notiz von dieser Mittheilung erschien im *Athenaeum* vom 25. Sept. 1852 und aus dieser Quelle scheint der nicht ganz fehlerfreie

1) *Notice of a new property of light exhibited in the action of chrysammate of potash upon common and polarized light* (*Transactions of the sections p. 7*). — (Ann. Bd. 69, S. 552).

2) *Phil. Mag.* (1852 März) Vol. III, p. 161. (Ann. Bd. 89, S. 250).

Bericht in *Cosmos* entlehnt zu seyn. In dem Bericht im *Athenaeum* ist die Farbe des rascher absorbirten Bündels kurz mit den Worten beschrieben: »Allein in Bezug auf in der Haupt-Ebene der Breite polarisirtes Licht sind die dickeren Krystalle vollkommen schwarz, nur die dünneren lassen Licht durch, welches von tief rother Farbe ist«. Die comparative Durchsichtigkeit der Krystalle für rothes Licht wird späterhin ausdrücklich verknüpft mit der grünen Farbe des wie von einem Metall reflectirten Lichts. Allein in dem Bericht im *Cosmos* steht statt dessen: »*tandis que pour le cas de la lumière polarisée dans le plan principal de la largeur ils sont opaques et noirs, quelque minces qu'ils soient d'ailleurs.*« Dieser Fehler führte Hrn. Haidinger zu der Voraussetzung, meine Beobachtungen widersprächen seinem Gesetz, wogegen ich in der That, ohne damals etwas von seiner Arbeit zu kennen, unabhängig zu einem ähnlichen Schluss gerathen war.

Indem ich meine eigenen Beobachtungen über Safflor-Roth, Herapathit u. s. w. anführe, liegt meinen Wünschen nichts ferner, als die Priorität Derjenigen, denen sie gebührt, zu vernachlässigen. Hr. Haidinger entdeckte mehre Jahre früher das Phänomen der Reflexion verschieden farbiger entgegengesetzt polarisirter Lichtbündel, welche Sir David Brewster kurz hernach und unabhängig beim chrysamminsauren Kali auffand. Hr. Haidinger hat vom Anfang an bei vielen Krystallen ein sehr richtiges Kennzeichen des Phänomens, nämlich die Orientirung der Polarisation des reflectirten Lichts beobachtet, was Sir David Brewster beim chrysamminsauren Kali nicht wahrgenommen zu haben scheint und bei diesem Salz vielleicht auch nicht sehr deutlich wahrzunehmen ist. In einem späteren Aufsatz erwähnt Hr. Haidinger der complementären Relation der reflectirten und durchgegangenen Farben ¹⁾. Die Anwendung der Kalk-

1) In dem Aufsatz: »Ueber den Zusammenhang der Körperfarben oder der farbig durchgelassenen und der Oberflächenfarben oder des zurückgeworfenen Lichts gewisser Körper« Sitzungsberichte der math. phys.

spath-Ringe als Mittel zur Entdeckung der elliptischen Polarisation hat nichts Neues und die Eigenschaft durch Reflexion von plan-polarisirtem Licht elliptisches hervorzu-
bringen, ist schon früher, selbst bei Substanzen pflanzlicher Abkunft, beobachtet worden ¹⁾. Ich weiß jedoch nicht, daß chromatische Veränderungen des Phasenwechsels experimentell verknüpft worden sind mit chromatischen Veränderungen einer intensiven Absorptionswirkung seitens des Mediums. Ich habe bisher nur einen Fall dieser Verknüpfung erwähnt, werde indess gegenwärtig Gelegenheit haben, noch einen anderen anzuführen.

Ich halte es nur für gerecht gegen mich selbst, den Fehler im *Cosmos* (aus welchem Hr. Haidinger meine Beobachtungen kennen lernte) hervorzuheben, da ich mich dar-

Klasse der VViener Akademie, Januar 1852) hat Hr. Haidinger eine Liste seiner früheren Arbeiten über diesen Gegenstand gegeben. Dieser Aufsatz enthält einen methodischen Bericht von den Eigenschaften der bis dahin von dem Verfasser in Bezug auf Oberflächen- und Körperfarben untersuchten Substanzen, dreißig an der Zahl. Einen Abdruck von diesem und den übrigen Aufsätzen verdanke ich der Güte des Verfassers.

- 1) Vor mehr als zwanzig Jahren hat Sir David Brewster in seinem wohlbekannten Aufsatz »*On the phaenomena and Laws of Elliptic Polarization, as exhibited in the action of Metals upon Light*« (*Phil. Trans. f.* 1830, p. 291, diese Ann. Bd. XXI, S. 219) die Abänderung der Kalkspath-Ringe als ein Kennzeichen des durch Reflexion von Metallen polarisirten Lichts bezeichnet. In einer der *British Association* auf ihrer Versammlung zu Southampton i. J. 1846 gemachten Mittheilung erwähnt Hr. Dale unter einer Reihe von Substanzen des Indigos als einer, bei welcher er mittelst der Kalkspath-Ringe elliptische Polarisation entdeckt habe. Er verknüpft indess hiebei diese Eigenschaft nicht mit der intensiven Absorptionskraft der Substanz, sondern mit deren hoher Brechbarkeit.

Ich spreche hier nicht von den kleineren Ellipticitätsgraden, die durch die feinen Untersuchungen von Jamin bei dem durch Reflexion an durchsichtigen Substanzen polarisirten Licht überhaupt entdeckt worden sind, theils weil sie so klein sind, daß sie von der Ellipticität beim Carthamin u. s. w. weit abstehen, theils weil sie zu dem vorliegenden Gegenstand keine Beziehung zu haben scheinen.

darnach eines schweren Versehens bei der Untersuchung des Herapathits schuldig gemacht hätte. Allein ich würde kaum gewagt haben, meine Beobachtungen über *Carthamin* u. s. w. anzuführen, geschähe es nicht häufig, wenn mehrere Personen für sich zu einem ähnlichen Schlusse gelangen, daß eine von ihnen auf Ansichten kommt, die der anderen nicht beigefallen sind. Im gegenwärtigen Fall hoffe ich, indem ich meine Ansichten über die Natur des Phänomens im Detail angebe, etwas zu dem von Hrn. Haidinger und Sir David Brewster bereits Geleisteten hinzufügen zu können, und es scheint mir daher am Orte zu seyn, die Beobachtungen anzuführen, aus welchen jene Ansichten hervorgingen.

Wie es scheint besitzen gewisse Substanzen, namentlich viele vegetabilische, die Eigenschaft, daß sie Licht, welches farbig ist und ein metallisches Ansehen hat, reflectiren, nicht zerstreuen (*scattering*). An diesen Substanzen beobachtet man eine ungemein intensive Absorptionswirkung in Bezug auf Strahlen von den Brechbarkeiten derjenigen, welche das solchergestalt reflectirte Licht constituiren, so daß für diese Strahlen die Opacität der Substanzen vergleichbar ist mit der der Metalle. Im Gegensatz zu dem, was bei den Metallen geschieht, erstreckt sich aber diese intensive Absorptionswirkung nicht auf alle Farben des Spectrums, sondern unterliegt chromatischen Variationen, in einigen Fällen sehr raschen. Das Ansehen des reflectirten Lichts, welches für sich allein nur eine unsichere Anzeige liefern würde, ist weder das einzige noch das hauptsächlichste Kennzeichen, welches diese Substanzen auszeichnet. Bei durchsichtigen Substanzen oder bei denen von nicht außerordentlich hoher Absorptionskraft (z. B. gefärbten Gläsern, Lösungen, u. s. w.) verschwindet das reflectirte Licht bei einem gewissen Einfallswinkel ganz oder fast ganz, wenn es so analysirt wird, daß es nur noch winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirte Strahlen enthält ¹⁾, was bei Me-

1) Ich ziehe hier nicht die eigenthümlichen Erscheinungen in Betracht, welche Sir David Brewster hinsichtlich des Einflusses der Doppel-Poggendorff's Annal. Bd. XCI.

tallen nicht der Fall ist. Bei den hier betrachteten Substanzen verschwindet das reflectirte Licht nicht; allein bei einem beträchtlichen Einfallswinkel wird das winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirte Bündel gewöhnlich reicher an Farbe, weil derjenige Theil des Lichts, welcher von den metallischen Eigenschaften des Mediums unabhängig ist, in grossem Maasse entfernt worden; gewöhnlich wird es auch mehr dem Lichte ähnlich, welches mit so grosser Intensität absorbirt wird. An einem durchsichtigen Mittel wird die Reflexion geschwächt oder zerstört, wenn man es mit einem andern, welches beinahe oder genau denselben Brechungsindex hat, in optischen Contact setzt. Demgemäss werden bei diesen optisch metallischen Substanzen die Farben, welche sie vermöge ihrer Metallicität¹⁾ reflectiren, zum Vorschein gebracht, wenn man sie mit Glas oder Wasser in optischen Contact setzt. Ein merkwürdiger Charakter der metallischen Reflexion besteht darin, dafs, so wie der Einfallswinkel von 0° aus wächst, die Vibrationsphase des in der Einfallsebene polarisirten Lichts gegen die des winkelrecht darauf polarisirten beschleunigt wird. Demgemäss findet dieselbe Veränderung mit demselben Zeichen auch bei diesen optisch metallischen Substanzen statt; allein der Betrag der Veränderung unterliegt sehr materiellen chromatischen Variationen, indem er für diejenigen Farben, welche mit grosser Energie absorbirt werden, bedeutend ist, dagegen unmerklich für diejenigen, für welche das Medium vergleichend durchsichtig ist, so, dafs die Absorption, welche von einer Schicht des Mediums, deren Dicke nur ein kleines Multiplum der Lichtwellenlänge beträgt, hervorgebracht wird, vernachlässigt werden kann. Wenn das Mittel krystallisirt ist, so kann es ge-

brechung eines Mediums (z. B. des Kalkspaths) auf die Polarisation des reflectirten Lichts beobachtet hat, da sie in der That nicht sehr hervortretend sind, sobald nicht das Medium mit einer Flüssigkeit von nahe demselben Brechungsindex in optischen Contact gesetzt wird.

- 1) Ich gebrauche dieses Wort für den Inbegriff der optischen Eigenschaften, durch welche sich ein Metall von einem durchsichtigen oder mäßig gefärbten Medium, z. B. gefärbtem Glase, unterscheidet.

schehen, daß bloß das eine der entgegengesetzt polarisirten Bündel, welche es durchläßt, eine ungemein starke Absorption in Bezug auf gewisse Farben erleidet, oder, wenn dies bei beiden Bündeln der Fall ist, daß sie so absorbirten Farben verschieden sind. Ebenso kann es geschehen, daß die Absorption sich ändert mit der Richtung des Strahls innerhalb des Krystalls. In solchen Fällen wird das vermöge der Metallicität des Mediums reflectirte Licht entsprechende Veränderungen erleiden, so daß das Medium nicht nur als doppelt brechend und doppelt absorbirend, sondern auch als doppelt metallisch betrachtet werden kann.

Die eben entwickelten Ansichten sind aus der Verknüpfung gewisser theoretischer Begriffe mit einigen Versuchen abgeleitet. Sie bedürfen einer weiteren Bestätigung durch das Experiment, aber so viel ich bisjetzt weiß, stehen sie mit der Erfahrung im Einklang.

Um zu erläutern, was erfolgt, wenn man ein durchsichtiges Medium mit einem optisch metallischen in optischen Contact versetzt, wähle ich das Safflor-Roth. Wenn man eine Portion dieser Substanz mittelst Wasser auf Glas bringt und das Wasser verdunsten läßt, so erhält man ein Häutchen, welches an der oberen Fläche ein gelblich grünes Licht reflectirt, an der Berührungsfläche mit dem Glase aber ein sehr schönes Grün mit einem Stich ins Blaue. Ein Grün von letzterem Ton scheint den mit größter Energie absorbirten Farben mehr wahrhaft verwandt zu seyn. Aehnliche Bemerkungen gelten von dem am *Herapathit* reflectirten Licht. Wenn man auf Glas eine kleine Portion des *Quadratits* (Cyan-Platin-Magnesium) in einem Paar Tropfen Wasser auflöst und die Flüssigkeit verdunsten läßt, so haben die Farben, welche von der oberen und der unteren Fläche des Krystallhäutchens reflectirt werden, nahe dieselbe Beziehung zu einander wie beim Safflor-Roth. Eine schöne Probe des letzteren Salzes verdanke ich der Güte des Hrn. Haidinger. Beiläufig will ich erwähnen, daß die Platincyane eine Salzkategorie von ungemein optischem Interesse sind. Die Krystalle sind in der Regel zugleich

doppelt-brechend, doppelt-absorbirend, doppelt-metallisch und doppelt-fluorescirend. Unter dem letzteren Ausdruck verstehe ich, daß die Fluorescenz, welche die Krystalle gewöhnlich in einem eminenten Grade zeigen, eine Beziehung hat zu fixen Richtungen in dem Krystall und zu den Azimuthen der Polarisationssebenen der einfallenden und der ausgesandten Strahlen.

Hr. Haidinger drückt die Beziehung zwischen den Oberflächen- und Körperfarben der Substanzen so aus, daß er sagt, sie seyen complementar. Dieser Ausdruck soll wohl nicht strenge richtig seyn; daß er es nicht seyn kann, läßt sich durch folgende einfache Betrachtung zeigen. Die Farbe des von einer Schicht einer gegebenen Substanz quer durchgelassenen Lichtes variirt fast immer, wenn nicht stets, mehr oder weniger mit der Dicke dieser Schicht. Nun kann eine und dieselbe Farbe, nämlich die reflectirte, nicht strenge complementar seyn zu einer unendlichen Mannigfaltigkeit verschiedener Farbentöne, nämlich den durch Schichten von verschiedener Dicke gegangenen. In den meisten Fällen freilich ist die Farbenveränderung nicht so groß, um uns abzuhalten, die reflectirten und die durchgelassenen Farben in allgemeinem Sinne als complementar zu betrachten. Allein da es Substanzen giebt (z. B. Chromsesquioxyd-Salze, Chlorophyllösungen), die ihre Farbe in merkwürdiger Weise mit der Dicke der vom Licht zu durchdringenden Schicht verändern, so ist es wahrscheinlich, daß noch Fälle entdeckt werden, welche Hrn. Haidinger's Gesetz auf dem ersten Blick widersprechen, obwohl sie ihm, in rechtem Sinne genommen, wirklich gehorchen werden. Da das Daseyn der Oberflächenfarbe nothwendig eine sehr intensive Absorption derjenigen Strahlen zu impliciren scheint, die nach den für Metalle gültigen Gesetzen reflectirt werden, so folgt, daß man in den allerdünnsten Krystallen oder Häutchen von denen, welche man sich gewöhnlich practisch zu verschaffen vermag, die durchgelassene Farbe zu suchen hat, welche zu der reflectirten am meisten eigentlich complementar ist.

Ich will hier von dem Zusammenhange zwischen metallischer Reflexion und intensiver Absorption noch ein anderes Beispiel anführen. Ich wähle dasselbe, weil von einer gewissen an der Substanz zu beobachtenden Erscheinung eine andere Erklärung gegeben worden ist, als ich zu geben beabsichtige. Dießs Beispiel ist der Eisenglanz. Da es bereits bekannt ist, daß verschiedene Metall-Oxyde und -Sulfurete die optischen Eigenschaften der Metalle besitzen, so hat es nichts Neues, dieses Mineral als eine Substanz der Art hinzustellen. Es ist vielmehr die chromatische Variation der Metallicität, auf welche ich die Aufmerksamkeit zu lenken wünsche. Wenn Licht, welches in einem Azimuth von etwa 45° polarisirt ist, von einem Stückchen dieses Minerals bei etwa dem Polarisationswinkel reflectirt, und das reflectirte Licht durch eine Kalkspathplatte und ein Nicol'sches Prisma betrachtet wird, so findet man, wenn nach einander verschiedene absorbirende Media angewandt werden, daß die Phasenveränderung, wie sie sich durch den Charakter der Ringe zu erkennen giebt, zwar schon sehr deutlich bei rothem Lichte ist, aber in den stark brechbaren Farben noch viel bedeutender wird. Nun ist der Eisenglanz fast opak für Licht von allen Farben, allein da er einen rothen Strich giebt, so scheint seine Körperfarbe roth zu seyn, und wirklich ist bekannt, daß sehr dünne Blättchen ein rothes Licht durchlassen. Demgemäß entspricht die chromatische Variation der Phasenveränderung derjenigen der intensiven Absorptionskraft.

Das am Eisenglanz reflectirte Licht wird bei Zerlegung unter keinem Einfallswinkel ausgelöscht; allein bei dem Einfallswinkel, welcher die größte Annäherung an vollständige Polarisation giebt, beobachtet man einen Rückstand von blauem Licht. Um dießs zu erklären, hat man den Eisenglanz mit einer Substanz von hoher Brechbarkeit verglichen, bei der der Polarisationswinkel für rothes Licht bedeutend geringer als für blaues sey, und bei welcher also mit Vergrößerung des Einfallswinkels das Licht (vorausgesetzt hier, es werde so zerlegt, daß nur der winkel-

recht gegen die Einfallsebene polarisirte Theil übrig bleibe), nahe beim Polarisationswinkel nicht nur bedeutend abnimmt, sondern auch entschieden blau wird¹⁾. Ich glaube jedoch, daß das blaue Licht, obwohl es einigermassen aus der eben bezeichneten Ursache entspringen mag, hauptsächlich von der chromatischen Variation der Metallicität herrührt, indem das Medium, optisch betrachtet, metallischer ist für blaues Licht als für rothes.

Der Eisenglanz ist ein gutes Beispiel von einer Substanz, welche das Verbindungsglied zwischen den wahren Metallen und Substanzen wie Safflor-Roth bildet. Es ähnelt den Metallen darin, daß die Absorptionskraft, wie aus der chromatischen Variation der Metallicität hervorgeht und von der Farbe des Striches angezeigt wird, nicht so ausgedehnten chromatischen Variationen unterliegt, wie bei Farbstoffen gleich dem Safflor-Roth. Es ähnelt dem Safflor-Roth darin, daß es für eine Portion des Spectrums hinreichend durchsichtig ist, um den Zusammenhang zwischen der Metallicität und der Körperfarbe zuzulassen, wogegen bei Metallen die Körperfarbe nicht aus directen Beobachtungen bekannt ist, ausgenommen vielleicht beim Golde, welches im Zustande des Blattgoldes ein grünliches Licht durchläßt.

Ich bin nun im Stande, von der Beziehung, die zwischen dem wie von einem Metalle reflectirten Lichte und dem mit großer Energie absorbirten stattzufinden scheint, eine auffallende Bestätigung beizubringen. Beim Lesen des Haidinger'schen Aufsatzes, dessen Titel bereits genannt wurde, interessirte es mich besonders, das krystallisirte übermangansaure Kali unter denjenigen Substanzen aufgeführt zu finden, welche verschiedene Oberflächen- und Körperfarben zeigen. Ich hatte früher die sehr merkwürdige Weise der Lichtabsorption bei der rothen Lösung des Mineralchamäleon beobachtet²⁾. Diese Lösung, welche optisch als eine reine Lösung von übermangansaurem Kali

1) *Lloyd, Lectures on the Wave-Theory of Light* pt. 11. p. 18.

2) *Philosoph. Transact. f.* 1852. p. 558.

betrachtet werden kann, in sofern sie nur ein farbloses Kalisalz beigemischt enthält, absorbiert grünes Licht mit grosser Energie, wie selbst, ohne den Gebrauch eines Prismas, von der Farbe angezeigt wird. Allein, wenn man das durch eine blasser Lösung gegangene Licht mittelst eines Prismas zerlegt, findet man darin fünf merkwürdig dunkle Absorptionsstreifen oder Transparenzminima, welche beinahe aequidistant sind und hauptsächlich in der grünen Gegend liegen. Das erste liegt auf der positiven oder brechbareren Seite der festen Linie D , nach einer neuerlich unternommenen Messung, etwa um vier Siebentel des Intervalls der consecutiven Streifen von ihr entfernt; das letzte fällt nahe mit F zusammen. Das erste Minimum ist weniger hervortretend als das zweite und dritte, welches das stärkste in der Reihe ist.

Nun fiel mir ein, dafs da die Lösung für Strahlen von den Brechbarkeiten dieser Transparenzminima so opak ist, entsprechende Maxima in dem von den Krystallen reflectirten Lichte vorhanden seyn möchten. Und diese Vermuthung hat sich durch einige seitdem an kleinen Krystallen gemachte Beobachtungen bestätigt. Bei Zerlegung des reflectirten Lichts durch ein Prisma war ich leicht im Stande, vier helle Streifen oder Maxima in dem Spectrum zu beobachten. Diese waren, wie sich wohl erwarten liefs, leichter zu sehen, wenn das Licht beinahe senkrecht einfiel als bei einem grossen Einfallswinkel. Der erste Streifen war gelb, die anderen grün, ins Blaugrüne fallend. Als das unter bedeutendem Einfallswinkel in einer der Axe parallelen Ebene reflectirte Licht in zwei Bündel, einem in und einem winkelrecht auf der Einfallsebene polarisirten, zerfällt und darauf durch ein Prisma zerlegt wurde, waren in dem Spectrum des ersten Bündels die Streifen kaum oder gar nicht sichtbar, während das des letzteren aus nichts als hellen Streifen bestand.

Der erste helle Streif zeigte schon alleinig durch seine Farbe, dafs er brechbarer war als das Licht, welches in dem Spectrum des durch die Lösung gegangenen Lichts

an der negativen Seite des ersten dunklen Streifens lag, und weniger brechbar als dasjenige, welches sich zwischen dem ersten und zweiten dunklen Streifen befand, so daß seine Lage ganz oder nahe der des ersten dunklen Streifens entsprechen würde. Indefs ist das Auge bei Absorptionsversuchen, vermöge der Effecte des Contrastes, großen Täuschungen ausgesetzt, und deshalb kann man sich auf eine Beobachtung dieser Art nicht ganz verlassen. Die Kleinheit der Krystalle veranlafste auch einige Schwierigkeit; allein eine zuverlässigere Beobachtung wurde auf folgende Art angestellt.

Sonnenlicht wurde horizontal in ein dunkles Zimmer reflectirt und auf einen Krystall geleitet. Das reflectirte Licht war begränzt durch einen Schlitz, der zwei bis drei Fuß vom Krystall abstand. Diese Vorsicht wurde getroffen, um sicher zu seyn, daß die Beobachtung an regelmäfsig reflectirtem Licht gemacht würde. Hätte man keinen Schlitz angewandt oder den Schlitz dicht am Krystall aufgestellt, so wäre zu fürchten gewesen, daß das beobachtete Licht nicht regelmäfsig reflectirt, sondern bloß, wie von einem farbigen Pulver, zerstreut worden. Das Erscheinen eines grünen Lichtflecks auf einem an der Stelle des Schlitzes gehaltenen Schirms zeigte, daß das Licht wirklich regelmäfsig reflectirt worden war. Durch den Schlitz ging auch das Licht, welches von dem Träger des Krystalls u. s. w. zerstreut worden. Der Schlitz wurde durch ein Prisma und ein kleines Fernrohr betrachtet, und so konnte die Lage der dunklen Streifen oder Helligkeitsminima in dem reflectirten Lichte verglichen werden mit den festen Linien, welche man mittelst des zerstreuten Lichts in dem ununterbrochenen Spectrum sah, das demjenigen Theil des Schlitzes entsprach, durch welches das vom Krystall reflectirte Licht nicht ging. Das an der positiven Seite des ersten hellen Streifens gelegene Minimum lag um etwas mehr als ein Streifen-Intervall an der positiven Seite der festen Linie *D*; das Minimum jenseits des vierten hellen Streifens lag etwa um ein halbes Streifen-Intervall an der negativen Seite

von *F*. Es erhellt also, daß die Minima des von dem Krystall reflectirten Lichts zwischen den Minimis des durch die Lösung gegangenen liegen, so daß die Maxima des ersteren den Minimis des letzteren entsprechen.

Es könnte für genügend erachtet werden, das reflectirte Licht zu vergleichen mit dem Licht, welches, nicht durch die Lösung, sondern durch die Krystalle selber gegangen wäre. Allein die Krystalle absorbiren das Licht mit solcher Macht, daß sie opak sind, und selbst wenn sie auf Glas ausgebreitet werden, ist die erhaltene Schicht für den Zweck zu dunkel gefärbt. Um die Streifen gut zu sehen, muß die Lösung so verdünnt seyn oder in so geringer Dicke angewandt werden, daß sie bloß nelkenroth erscheint. Da Hr. Haidinger angiebt, daß die Erscheinungen beim reflectirten Licht gleich sind für alle Flächen in allen Azimuthen und für die polirte Oberfläche einer Masse von zerdrückten Krystallen, so läßt sich vermuthen, daß die Absorption nicht sehr von dem Krystallgefüge afficirt werde und das durch eine Lösung gegangene Licht beinahe dieselbe Zusammensetzung habe, wie das durch eine Krystallplatte gegangene, wäre es möglich eine solche von hinlänglicher Düntheit zu erhalten.

Der erste helle Streif im reflectirten Licht erscheint gewöhnlich nicht sehr deutlich geschieden von dem stetigen Licht von niederer Brechbarkeit. Allein das letztere läßt sich fortschaffen, wenn man das bei etwa dem Polarisationswinkel reflectirte Licht beobachtet und es so zerlegt, daß nur der winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirte Theil übrig bleibt. Da die Oberfläche der Krystalle leicht dem Verderben ausgesetzt ist, so ist es am sichersten, zu den Beobachtungen über das reflectirte Licht frisch aus der Mutterlauge genommene Krystalle anzuwenden. In dem reflectirten Lichte habe ich nur vier helle Streifen beobachtet, wogegen in dem durch die Lösung gegangenen fünf deutliche Minima sind. Die äußersten Minima sind indeß weniger deutlich als die dazwischenliegenden, außer welchen das fünfte in einer verhältnißmäßig schwachen Gegend

des Spectrums vorkommt. Der vierte helle Streifen im reflectirten Licht war etwas schwach, doch möchte mit feineren Krystallen vielleicht gar ein fünfter sichtbar seyn. Da die Metallicität der Krystalle in den Theilen des Spectrums, welche den Transparenzmaximis entsprechen, fast oder ganz unmerklich ist, so kann man sagen, dafs, in Bezug auf die optischen Eigenschaften des reflectirten Lichts, das Medium sich vier oder fünf Mal aus einer durchsichtigen Substanz in ein Metall und wieder zurück verwandele, so wie die Brechbarkeit des Lichts von etwas jenseits der festen Linie *D* zu etwas jenseits *F* übergeht.

XIII. Ueber Beobachtungen mit dem Schönbein'schen Ozonometer;
von Prof. Rudolf Wolf.

Es dürfte vielleicht nicht ohne Interesse seyn, die Resultate kennen zu lernen, welche durch regelmässige Beobachtungen des Schönbein'schen Ozonometers während des Jahres 1853 in Bern erhalten wurden. Dieses Ozonometer besteht bekanntlich aus, mit Jodkleister präparirten Papierstreifen, welche längere Zeit (von mir regelmässig je 12 Stunden) der Luft ausgesetzt, dann in reines Wasser getaucht, und nachher mit einer von weifs (0) bis dunkelviolet (10) führenden Farbenscale verglichen werden. Die Summe der zwei täglichen Ablesungen gab mir im Mittel

December	9,3	März	13,2	Juni	8,7	September	6,8
Januar	9,4	April	12,6	Juli	4,7	October	5,2
Februar	13,0	Mai	13,0	Aug.	7,1	November	5,2
Winter	10,57.	Frühl.	12,93.	Sommer	6,83.	Herbst	5,73

so daß im Jahre 1853 das Maximum der Reaction auf den Frühling, das Minimum auf den Herbst fiel. Es ist jedoch leicht möglich, daß sich das Jahr 1853 auch in dieser Beziehung, wie in den übrigen meteorologischen Verhältnissen, anormal zeigte, und in gewöhnlichen Jahren das Max. auf den Winter, das Min. auf den Sommer fällt; die Folge der Beobachtungen wird entscheiden.

Die Vergleichung der Ozon-Reactionen mit den übrigen meteorologischen Beobachtungen gab mir folgende Resultate:

		Mittel der täglichen Ozon-Reactionen					
		an den betreffenden			in den betreffenden		
		Tagen.			Monaten.		
Schöne Tage		4,86	.	.	.	9,02	
Regentage		11,40	.	.	.	8,59	
Schneetage		14,15	.	.	.	10,81	
Gewitter-Tage		10,92	.	.	.	8,30	
Nebeltage		5,13	.	.	.	9,02	
Hohe Barometerstände							
(über 720 ^{mm})		4,69	.	.	.	6,26	
Tiefe Barometerstände							
(unter 700 ^{mm})		12,00	.	.	.	10,02	
und die Windrose							
N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
8,4	9,6	5,0	6,0	9,4	11,8	11,8	9,8
6,8				11,2			

Im Ganzen bleiben somit die Ozon-Reactionen (die ich im Detail in den Mittheilungen der Berner Naturforschenden Gesellschaft geben und besprechen werde) bei schönen Tagen, trockenen Nebeln und Ostwinden unter dem Mittel, während sie dagegen bei Gewittern, Westwinden, Regentagen und namentlich bei bedeutenden Schneefällen über das Mittel steigen.

Bern, 22. Januar 1854.

XIV. Ueber den *Mimetesit* (*Kampylit*) von *Caldbeck Felt* in *Cumberland*; von *C. Rammelsberg*.

An dem genannten Orte findet sich in Begleitung von Psilomelan eine Abänderung des *Mimetesits* in wachsgelben gekrümmten sechseitigen Prismen, welche ich auf Veranlassung des Hrn. Dr. Krantz chemisch untersucht habe.

Das spec. Gewicht ist = 7,218.

Vor dem Löthrohr verhält sich das Mineral wie andere *Mimetesite*, giebt aber zugleich eine geringe Chromreaction.

In verdünnter Salpetersäure ist es etwas schwer, jedoch vollkommen auflöslich.

Bei den Analysen wurde das Blei theils als schwefelsaures Bleioxyd, theils als Chlorblei, die Arseniksäure als Schwefelarsenik, die Phosphorsäure als phosphorsaure Talkerde, und das Chlor als Chlorsilber bestimmt. Die Menge des Chroms ist kaum wägbar. Ausserdem findet sich eine kleine Menge Kalkerde.

	1.	2.	3.
Chlor		2,41	
Phosphorsäure	3,16	3,78	3,08
Arseniksäure	18,55	18,39	
Bleioxyd	76,70	76,24	
Kalkerde		0,50	

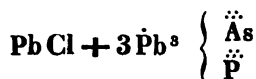
Das Mittel ist:

Chlor	2,41
Arseniksäure	18,47
Phosphorsäure	3,34
Bleioxyd	76,47
Kalkerde	0,50
	<hr/> 101,19.

2,41 Chlor bilden mit 7,04 Blei 9,45 Chlorblei, und 7,04 Blei sind = 7,58 Bleioxyd, so dass die Zusammensetzung des Minerals ist:

		Sauerstoff.	
Chlor	2,41		
Blei	7,04		
Bleioxyd	68,89	4,94	} 5,08
Kalkerde	0,50	0,14	
Arseniksäure	18,47	6,41	} 8,28
Phosphorsäure	3,34	1,87	
	<u>100,64.</u>		

Es entspricht diese Abänderung mithin der allgemeinen Formel:



und sie zeichnet sich vor den übrigen bekannten nur durch ihren größeren Gehalt an phosphorsaurem Bleioxyd aus, von dem sie nahezu 1 At. gegen 3 At. arseniksaures Bleioxyd enthält. In der von Wöhler untersuchten Varietät von Johann-Georgenstadt ist das Verhältniß beider Salze = 1 : 10.

XV. Notiz über das viergliedrige schwefelsaure Nickel-oxydul; von Prof. Reusch in Tübingen.

Der zufällige Besitz eines etwas voluminösen Krystalls von optisch-einaxigem schwefelsaurem Nickeloxydul veranlaßte mich in letzter Zeit dieses Salz etwas näher zu untersuchen. Mit großer Leichtigkeit erhält man Platten, deren zur Axe senkrechte Flächen keiner weiteren Politur bedürfen und die daher zu thermischen und optischen Versuchen unmittelbar brauchbar sind.

Im Mellonischen Apparate zeigen sich Platten dieses Salzes, selbst bei einer Dicke von wenigen Millimetern, in hohem Grade atherman.

Während die Locatellische Lampe im Multiplicator bei freier Strahlung 69° , mit Steinsalz 66° , mit Alaun 18° Ablenkung gab, erhielt ich mit einer etwa 2^{mm} dicken Nickelplatte nur 8° Ablenkung. Für dunkle Wärmequellen scheint dieses Salz fast ganz atherman zu seyn. Ich erinnere hiebei an die analogen Eigenschaften des Kupfervitriols (s. Ettingshausen, Physik 3. Aufl. S. 522).

Für die Farbenringe müssen die Platten schon gegen 5^{mm} dick seyn, wenn man eine gehörige Anzahl derselben übersehen will.

Dieser Umstand, so wie dafs ich einigen Freunden von dem Krystalle mittheilte, machte, dafs mir für ein Prisma, zur Bestimmung der Brechungscoëfficienten, kein Stück mehr übrig blieb, das eine vollkommene Bearbeitung der Seitenflächen erlaubt hätte. In Folge hievon war es nicht möglich ein Goniometer mit Fernrohr anzuwenden, und ich sah mich genöthigt, mit dem Wollaston'schen Goniometer und einem dreizölligen Spiegelsextanten ohne das Fernrohr zu operiren.

Nachdem der Winkel des Prismas gemessen war, wurde dasselbe gegen eine feine horizontale Spalte, hinter der eine gute Lampe brannte, mit Hülfe der Goniometerbewegung unter den Winkel der kleinsten Ablenkung gestellt und der Winkel zwischen Spalte und Mitte des Spectrums gemessen. Da die Spalte in einem Abstand von 30 Fufs sich befand und die Beobachtungen in möglichster Nähe des Prismas gemacht wurden, so konnte man sich erlauben, den Fehler zu vernachlässigen, der davon herrührt, dafs die von der Spalte auf das Prisma und den grofsen Sextantenspiegel fallenden Strahlen nicht parallel sind. Der Winkel des Prismas ergab sich als Mittel aus sechs Bestimmungen zu $41^{\circ} 29' 51''$; für den ordinären Strahl war die kleinste Ablenkung $23^{\circ} 20' 20''$, für den extraordinären $21^{\circ} 58' 0''$, beide ebenfalls das Mittel aus je sechs Einstellungen. Hieraus berechnen sich nach der bekannten Formel die mittleren Brechungscoëfficienten

$$n. = 1,513$$

$$n. = 1,485.$$

Diese Zahlen treffen zufällig ziemlich nahe mit denen zusammen, welche Sénarmont (Beer, höhere Optik S. 297) für das doppelt-phosphorsaure Ammoniak gefunden hat.

Um mich von der Brauchbarkeit der obigen Methode zu überzeugen, beobachtete ich unter gleichen Umständen an einem Kalkspathprisma mit zur Axe paralleler Kante und einem brechenden Winkel von $58^{\circ} 47' 10''$ die Winkel der kleinsten Ablenkung und fand $50^{\circ} 11' 45''$ für den ordinären, $34^{\circ} 49' 15''$ für den extraordinären Strahl, wobei alle Winkel das Mittel aus je vier Einstellungen sind. Man erhält hieraus

$$n. = 1,658, \quad n. = 1,485,$$

während die bekannten Malus'schen Werthe

$$1,6543 \text{ und } 1,4833$$

sind. Es dürften daher die zwei ersten Decimalen der oben gegebenen Zahlen sicher seyn. Viel genauer sind aber wohl die Zahlen in der oben citirten Tabelle (Beer S. 297 und 298) überhaupt nicht.

XVI. *Ueber die Fraunhofer'schen Linien. Aus einem Briefe des Hrn. Dr. Heusser.*

Zürich 11. Febr. 1854.

— Broch hat in ihren Annalen (Ergänzbd. III. 311) mitgetheilt, daß die Fraunhofer'schen Linien in Christiania ganz anders auftreten, als wie sie von Fraunhofer selbst beschrieben sind, daß er (Broch) deswegen der Ansicht sey, das Erscheinen derselben hänge ab von der geographischen Lage des Beobachtungsortes, von der Höhe desselben über dem Meer, von Jahres- und Tageszeiten etc. In Berlin hatte ich keinen Unterschied von der von Fraun-

hofer gegebenen Zeichnung gefunden, wie ich diefs schon in meiner Arbeit, *Annal.* Bd. 87 S. 457, bemerkt habe. Letzten Herbst bot sich mir nun eine günstige Gelegenheit dar, das Sonnenspectrum in einer bedeutenden Höhe zu beobachten, nämlich zu St. Moritz, im Ober-Engadin, ungefähr 5500 Fufs über dem Meer. Ich hatte von Berlin aus, aufser einem Oertling'schen Fernrohr, das Flintglasprisma mitgenommen, mittelst dessen ich dort ein reines Sonnenspectrum darstellte. Fernrohr und Prisma waren auf einem Gestell so befestigt, dafs beide sich um eine verticale Axe drehen liefsen, das Prisma also leicht ins Minimum der Ablenkung gebracht und das Fernrohr darauf gerichtet werden konnte. Einen Heliostaten hatte ich zwar in St. Moritz nicht, allein dafür liefs ich den Sonnenstrahl von einem auf ein Brett gespannten blendend-weißen Faden durch einen engen ebenfalls von Berlin mitgenommenen Spalt reflectiren. Mittelst eines solchen hatte ich schon in Berlin das Spectrum beobachtet und gefunden, dafs die Fraunhofer'schen Linien, mit Ausnahme von *A* im Roth und von *H* im Violett, deutlich zum Vorschein kommen.

Diese Beobachtungen wiederholte ich nun im Hause meines Bruders zu St. Moritz, und fand nicht den mindesten Unterschied von dem Auftreten der Linien wie ich es in Berlin gesehen. *B, C, D, E, F* und *G* erschienen als die stärksten Linien, und, soweit das Auge es beurtheilen konnte, in denselben Abständen von einander wie zu Berlin. —

I. *Ueber das Verhältniß, in welchem isomorphe Körper zusammen krystallisiren, und den Einfluss desselben auf die Form der Krystalle;*
von C. Rammelsberg.

Leblanc, Beudant, Gay-Lussac, insbesondere aber Mitscherlich verdanken wir zahlreiche Versuche über die *isomorphen Mischungen*, welche entstehen, wenn man zwei oder mehrere isomorphe Körper entweder aus einer gemeinschaftlichen Auflösung krystallisiren, oder einen Krystall des einen in der Auflösung des anderen sich vergrößern läßt. Die Alaunarten und die schwefelsauren Salze gewisser Metalloxyde sind hierzu besonders anwendbar. Es ist hierdurch nachgewiesen, daß die Krystallform der isomorphen Mischung übereinstimmt mit der ihrer nächsten Bestandtheile (Mischungstheile), wenn diese selbst gleiche Form besitzen. Aber ebenso bekannt ist es, daß aus der gemeinschaftlichen Auflösung zweier Substanzen von verschiedener Krystallform, wie eine solche bei analog zusammengesetzten Salzen durch eine Verschiedenheit im Wassergehalt bedingt wird, sowohl Krystalle von der Form der einen als auch der anderen Substanz erhalten werden können, welche isomorphen Mischungen angehören, und in denen dann die Anzahl der Atome gleich ist der in dem betreffenden isomorphen Mischungstheil des Ganzen.

So wissen wir z. B., daß eine Auflösung von Kupfervitriol und Eisenvitriol unter Umständen sowohl Krystalle von der Form des ersteren als auch des letzteren liefern kann, in welchen sich beide Salze entweder mit 5 oder 7 At. Wasser verbunden finden.

Es schien mir für die Kenntniß der in jeder Beziehung wichtigen und anziehenden Lehre von der Isomorphie von Interesse, zu untersuchen, worin die Ursache dieser Erscheinung liegt. Denn obwohl man im Allgemeinen mit Recht annimmt, daß die Form der isomorphen Mischung sich nach dem vorwaltend vorhandenen Mischungstheil richte, so ist doch bisher noch kein Versuch gemacht worden, die Gränze zu bestimmen, bei welcher das Verhältniß der isomorphen Substanzen Anlaß zur Entstehung der zweiten Form giebt.

An diese Frage knüpft sich unmittelbar die allgemeine, ob das Verhältniß zweier (oder mehrerer) isomorpher Körper in ihren Mischungen ein stöchiometrisch-einfaches oder innerhalb weiter Gränzen unendlich Differirendes sey.

Jeder Krystall einer isomorphen Mischung kann in mechanischer Beziehung entweder homogen oder heterogen gedacht werden. Bildet er sich in der gemeinschaftlichen Auflösung isomorpher Körper, so haben die Atome derselben Beweglichkeit genug, um sich dicht nebeneinander ablagern zu können. Der ganze Krystall wird als ein Complex gleich-gestalteter Molecüle (Atomaggregate) erscheinen, welche gleichmäßige Anordnung und Vertheilung haben, und bei der geringen Größe der Molecüle wird es nie gelingen, einen Unterschied der Masse in Bezug auf ihre Zusammensetzung an irgend einer Stelle des Krystalles aufzufinden. Solche Krystalle werden also homogen erscheinen, wenn sie es auch in atomistischer Beziehung durchaus nicht sind. In der That nimmt man auch allgemein für Krystalle von der erwähnten Entstehungsweise diesen homogenen Zustand an, obwohl kein Beweis dafür bekannt ist, da es doch auch möglich wäre, daß bei ihrer Bildung keine *Juxtaposition* sondern ausschließlich eine *Ueberlagerung* stattfände, d. h., daß sich zuvörderst ein Krystall der einen Substanz bilde, und dieser alsdann von der Masse der mit ihr isomorphen umhüllt oder überwachsen würde, was vielleicht abwechselnd sich wiederholen könnte, so daß das Endresultat ein größerer Krystall

von heterogener Beschaffenheit wäre. Denn so verhält es sich in der That, wenn ein Krystall, gehöre er einer einzelnen Substanz oder einer isomorphen Mischung an, in der Auflösung einer anderen isomorphen Substanz oder einer isomorphen Mischung sich vergrößert. Er besteht aus Schichten, deren Verschiedenheit durch chemische Mittel, zuweilen durch die Farbe sich nachweisen läßt. Auch bei Mineralien kommen Erscheinungen dieser Art vor (Turmalin).

Eine andere Aufgabe für die Untersuchung in diesem Gebiet ist unstreitig, die Beziehungen zu erforschen, in welchen die Modification der äußeren Form isomorpher Körper zu ihrer chemischen Natur steht.

Isomorphe Körper zeigen, was die Lage gleichartiger Flächen gegen einander betrifft, bekanntlich mehr oder minder große Unterschiede. Die aus ihnen hervorgehenden isomorphen Mischungen werden sich natürlich innerhalb solcher Grenzen bewegen. Aber so interessant es seyn würde, den Antheil kennen zu lernen, den eine größere oder geringere Menge des einen oder anderen Mischungstheils auf die Größe jener Neigungen ausübt, so ist dies doch bei der Unvollkommenheit der Krystalle und dem geringen Betrage der Differenzen nicht möglich, vergleichende Beobachtungen anzustellen. Man muß sich darauf beschränken, die Modification der Form überhaupt nur anzugeben, welche durch die relative Menge der isomorphen Mischungstheile herbeigeführt wird. Dafs eine solche stattfindet, kann man leicht, auch aus wenigen Versuchen, abnehmen. So z. B. krystallisirt der Eisenvitriol für sich mit dem Maximum von Flächen, während die Krystalle isomorpher Mischungen, in welche er eingeht, oft das Minimum derselben zeigen, stets wenigstens einfacher gebildet sind, als die Krystalle des reinen Salzes. Ob etwas Gesetzmäßiges hierbei stattfindet, läßt sich erst in Zukunft, wenn die Beobachtungen noch sehr vermehrt werden, angeben.

Die im Nachfolgenden mitgetheilten Versuche sind nur

als ein Bruchstück zu betrachten, welches erst dann zu einem Ganzen werden könnte, wenn die Kräfte Mehrerer sich dazu vereinigten. Sie betreffen die isomorphen Mischungen, welche schwefelsaure Talkerde, schwefelsaures Eisenoxydul, schwefelsaures Manganoxgydul, schwefelsaures Zinkoxyd, schwefelsaures Kupferoxyd, salpetersaurer Baryt, salpetersaures Bleioxyd, gewöhnlicher Alaun und Chromalaun, schwefelsaures und chromsaures Kali bilden, und es sind der Einfachheit wegen stets nur zwei Salze gemischt worden.

Ehe die Resultate der isomorphen Mischung mitgetheilt werden, mögen einige Bemerkungen über die Form der einzelnen Salze Platz finden.

Schwefelsaure Talkerde (Bittersalz) $\text{Mg S} + 7 \text{ H.}$

Die Bittersalzkrystalle, dem zweigliedrigen System angehörig, stellen sich als rhombische Prismen p dar, welche von rechtwinkligen wenig abweichen. Ihre scharfe Seitenkanten sind gerade abgestumpft durch die Fläche b . In der Endigung erscheint ein Rhombenoktaëder o als vierflächige auf p gerade aufgesetzte Zuspitzung, deren stumpfere Endkanten durch die Flächen r abgestumpft sind.

Bezeichnet man

$$\begin{aligned} o &= a : b : c & p &= a : b : \infty c & b &= b : \infty a : \infty c \\ & & r &= a : c : \infty b \end{aligned}$$

und legt Brooke's Messungen zum Grunde, so ist das Axenverhältniß $a : b : c = 0,9901 : 0,5709$.

Die wichtigsten Winkel sind dann, mit Hinzufügung einiger eigenen Messungen:

	Berechnet.	Beobachtet.	
		Brooke.	R.
$p : p \text{ an } a =$		* $90^\circ 34'$	$90^\circ 39'$
- $b =$	$89^\circ 26'$		$89 18$
$p : b =$	$134 43$		$134 41$
$r : r \text{ an } c =$	$120 4$		
- $a =$	$59 56$		
$o : o \text{ in den stumpf. Endk.} =$	$127 22$		

	Berechnet.	Beobachtet. Brooke.	R.
in den schärf. Endk.	$= 126^{\circ} 48'$		
- - Seitenkanten	$= 78 \quad 6$		
jenseits c	$= 101 \quad 54$		$101^{\circ} 38'$
$o:p$	$=$	$*129^{\circ} \quad 3'$	
$o:r$	$= 153 \quad 41$		$153 \quad 40$
$o:b$	$= 116 \quad 19$		
$p:r$	$= 110 \quad 47$		$110 \quad 52$

Nach den Angaben von Brooke, Mohs u. A. finden sich beim Bittersalz noch mehrere andere Oktaëder, wie $\frac{1}{2} a : b : c$ und $a : \frac{1}{2} b : c$; ferner die Flächen des zweiten zugehörigen Paares $b : c : \infty a$, des zweifach schärferen $b : 2c : \infty a$, so wie des analogen dritten Paares $= a : 2c : \infty b$, auf die Abstumpfung der stumpfen Seitenkanten des Prismas p durch $a : \infty b : \infty c$.

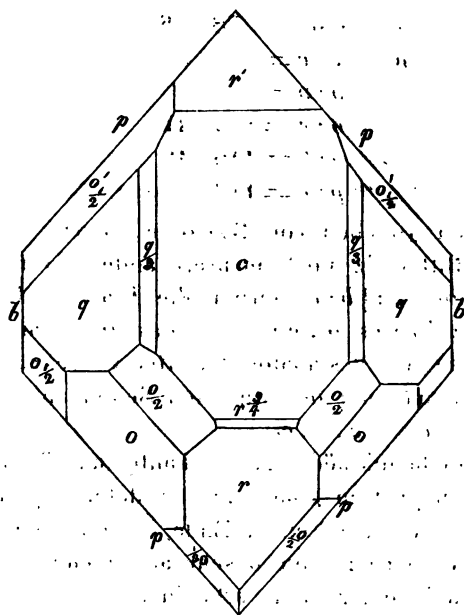
Die Rhombenoktaëder sollen häufig als Tetraëder vorkommen. An grossen scharf ausgebildeten Krystallen habe ich zwar oft an dem einen Ende zwei jenseits c gegenüberliegende Flächen von o sehr ausgedehnt gesehen, so dass sie sich in einer Kante schneiden, die beiden anderen dagegen äusserst klein, allein das andere Ende des Krystalles zeigt dann aber oft vier Oktaëderflächen von ziemlich symmetrischer Bildung. Ich möchte also keine Hemiëdrie beim Bittersalz annehmen.

Das *schwefelsaure Zinkoxyd*, $\text{Zn}\ddot{\text{S}} + 7\text{H}$, zeigt in Betreff seiner Formen die grösste Aehnlichkeit mit dem Bittersalze. Auch hier findet sich vorzugsweise das Hauptoktaëder mit seinen Deductionsflächen. Den Messungen von Brooke zufolge, ist $a : b : c = 0,9804 : 1 : 0,5631$.

Schwefelsaures Eisenoxydul (Eisenvitriol) $\text{Fe}\ddot{\text{S}} + 7\text{H}$.

Der Eisenvitriol und die ihm ähnlichen Salze von Manganoxydul und Kobaltoxyd bilden bekanntlich eine zweite Gruppe der heteromorphen Verbindungsreihe $\text{R}\ddot{\text{S}} + 7\text{H}$. Von Hauy als rhomboëdrisch betrachtet, ist er später als

zwei- und eingliedrig erkannt worden. Er zeigt einen ziemlichen Reichthum an Flächen, wie Fig. 1. darthut,



welche, die von mir beobachteten in einer Horizontalprojection darstellt.

Den älteren Winkelmessungen von Mohs und Brooke habe ich eine Reihe eigener hinzuzufügen, zu denen das Material kurz vorher dargestellt worden war.

Betrachtet man das Augitpaar o als die vordere Hälfte des zwei- und eingliedrigen Hauptoktaeders, so ist:

$$\begin{array}{lll}
 o = a : b : \frac{1}{2} c & p = a : b : \infty c & b = b : \infty a : \infty c \\
 \frac{o}{2} = a : b : \frac{1}{4} c & q = b : c : \infty a & c = c : \infty a : \infty b \\
 \frac{1}{2} o = \frac{1}{2} a : b : c & r = a : c : \infty b & \\
 o \frac{1}{2} = a : \frac{1}{2} b : c & r' = a' : c : \infty b & \\
 o \frac{1}{2} = a' : \frac{1}{2} b : c & r \frac{9}{4} = a : \frac{9}{4} c : \infty b &
 \end{array}$$

Aus meinen Messungen, von denen die der Berech-

nung zu Grunde liegenden mit einem Stern bezeichnet sind, folgt das Axenverhältniß

$$a : b : c = 1,1704 : 1 : 1,5312$$

und der spitze Winkel, den die Axen a und c bilden,
 $= 76^{\circ} 33'$.

An dem zwei- und eingliedigen Hauptoktaëder, welches sich aus o und einem bis jetzt noch nicht beobachteten hinteren Augitpaar $o' = a' : b : c$ zusammensetzt, ist die Neigung der Flächen

in den Kanten $a : c = 101^{\circ} 30'$ ($101^{\circ} 35'$ Mohs)

„ $a' : c = 88 \ 28$

„ $b : c = 107 \ 56$

„ $a : b = 126 \ 47$.

Die beiden Augitpaare $o\frac{1}{2}$ und $o'\frac{1}{2}$ bilden gleichfalls ein zwei- und eingliedriges Oktaëder, an welchem jene Neigung in

$$a : c = 62^{\circ} 56'$$

$$a' : c = 51 \ 56$$

$$\frac{1}{2} b : c = 134 \ 52$$

$$a : \frac{1}{2} b = 145 \ 57$$

ist.

Die wichtigsten der übrigen Kantenwinkel sind nun:

Berechnet.		Beobachtet.		
		R.	Brooke.	Mohs.
$p : p$ an $a =$		$*82^{\circ} 36'$	$82^{\circ} 20'$	$82^{\circ} 2'$
- $b =$	$97^{\circ} 24'$			
$p : b$	$= 138 \ 42$	$138 \ 28$		
$p : c$	$=$	$*98 \ 50$	$99 \ 2$	
$c : \frac{p}{p}$	$= 103 \ 27$			
$p : r$	$= 123 \ 55$			
$\frac{p}{p} : r$	$= 147 \ 44$			
$p : r'$	$= 119 \ 19$	$118 \ 58$		
$\frac{p}{p} : r'$	$= 137 \ 53$			
$r : r'$	$= 74 \ 23$			
$c : r$	$= 135 \ 43$	$135 \ 50$	$136 \ 10$	

	Berechnet.	R.	Beobachtet. Brooke.	Mohs.
$c : r'$	=	*118° 40'	119° 15'	
$r : r \frac{9}{4}$	= 157° 25'	157 8		
$c : r \frac{9}{4}$	= 158 18		159 0	
$q : q \text{ an } c$	= 67 46			69° 17'
- b	= 112 14			
$q : c$	= 123 53	123 45	123 55	
$q : b$	= 146 7	146 17		
$\frac{q}{3} : \frac{q}{3} \text{ an } c$	= 127 12			
- b	= 52 48			
$\frac{q}{3} : c$	= 153 36		153 0	
$\frac{q}{3} : b$	= 116 24			
$q : \frac{q}{3}$	= 150 17	149 51		
$o : r$	= 140 45			
$o : b$	= 129 15			
$o : c$	= 123 40			
$o : p$	= 155 10			
$o : q$	= 144 30			
$\frac{o}{2} : b$	= 119 30			
$\frac{o}{2} : c$	= 139 39			
$\frac{o}{2} : p$	= 139 11	139 28		
$o \frac{1}{2} : r$	= 121 28			
$o \frac{1}{2} : o$	= 160 43			
$o \frac{1}{2} : b$	= 148 32			
$o' \frac{1}{2} : r'$	= 115 58			
$o' \frac{1}{2} : b$	= 154 2			
$\frac{1}{2} o : o$	= 162 52			
$\frac{1}{2} o : q$	= 127 22			
$\frac{1}{2} o : b$	= 116 19			

Nicht immer sind die Krystalle symmetrisch ausgebildet. Combinationen aus den Flächen p , c und r' , welche ein Oktaëd bilden, sind selbst für Oktaëder gehalten worden ¹⁾. Andere Verzerrungen werden weiterhin bei den isomorphen Mischungen erwähnt werden. Die Flächen $\frac{q}{3}$ und die verschiedenen Augitpaare treten ihren Flächen nach nicht immer vollzählig auf, ohne dafs jedoch darin etwas Constantes läge.

Isomorphe Mischungen.

Um die Zusammensetzung derselben und ihre Form kennen zu lernen, wurden die beiden einfachen Salze in dem Gewichts-Verhältnifs bestimmter Atomgewichte aufgelöst, und die Auflösung in fast allen Fällen durch freiwilliges Verdunsten zum Krystallisiren gebracht. Es wurde dabei beachtet, niemals eine gröfsere Quantität solcher Anschüsse gleichzeitig zu erzeugen; die Krystalle wurden, sobald sie irgend eine Verschiedenheit in Form, Farbe, selbst eine auffallende in der Gröfse zeigten, gesondert; und die Mutterlauge in gleicher Art zur Gewinnung mehrfacher Krystallisationen benutzt.

Es ist begreiflich, dafs die Analyse einer gewissen Anzahl von Krystallen keine Bürgschaft für die Zusammensetzung eines einzelnen Krystalles gewährt. Wo es die Gröfse der Krystalle erlaubte, wurden nur einige wenige von gleicher äufserer Beschaffenheit der Analyse unterworfen. Demnach mufs das Resultat im Allgemeinen als der Ausdruck der *mittlern* Zusammensetzung eines Krystallanschlusses betrachtet werden, und da die Erfahrung zeigt, dafs die successiv sich bildenden Krystalle in den meisten

- 1) G. Rose in diesen Ann. 7, 239. Bei dieser Gelegenheit will ich bemerken; dafs sich in die Angaben von Mohs eine Verwechslung der Neigungen von r (v) und r' (t) gegen die Axe c eingeschlichen hat, insofern v den Winkel von $46^\circ 13'$, t den von $28^\circ 4'$ erhalten mufs. Demgemäfs ist am a. O. zu setzen:

$$\begin{aligned} t : \text{Kante } w &= 133^\circ 47' \\ v : \text{ } &= 151 \quad 56 \end{aligned}$$

Fällen wirklich in der Zusammensetzung verschieden sind, ohne daß dies immer durch eine sichtliche Verschiedenheit der Flächenbildung sich verriethe, so wird es oft geschehen, daß die zur Analyse gewählten Krystalle, so wenig derselben man auch bedarf, nicht gleich zusammengesetzt sind. Leider erlaubt es ihre geringe Größe fast niemals, einen einzelnen Krystall zu analysiren.

Die mitzutheilenden Versuche werden zeigen, daß das Verhältniß der isomorphen Substanzen in den Mischungen sehr oft ein stöchiometrisch einfaches sey. Wo sich ein solches nicht ergibt, möchte der Grund in dem oben erwähnten Umstande liegen.

Bei der Analyse sind zuweilen in einer gewogenen Menge des Salzes die Säure und zugleich die beiden Basen bestimmt worden, zuweilen wurde selbst der Wassergehalt durch schwaches Glühen ermittelt. Letzteres kann allerdings nur in wenigen Fällen ein genaues Resultat geben, wie z. B. bei der schwefelsauren Talkerde, in welcher ich auf diese Weise 51,08 Proc. Wasser fand (berechnet 51,04, wenn $Mg = 254,5$, oder 51,20, wenn $Mg = 250$ ist)¹⁾. Beim Zinkvitriol ergaben sich 42,38 Proc. Wasser (berechnet 43,88 Proc.) In den meisten Fällen aber wurde eine unbestimmte Menge der zu untersuchenden Krystalle nur zur Bestimmung der relativen Menge der beiden isomorphen Bestandtheile benutzt.

Es sind im Nachfolgenden einige Resultate erwähnt, welche von Schüffele²⁾ bei isomorphen Mischungen erhalten wurden, die aber nur den Zweck hatten, zu untersuchen, in welchem Verhältniß ein Salz von der gesättigten Auflösung eines, anderen aufgelöst wird. Der Verfasser hat nur einen Salzanschufs jedesmal untersucht, und giebt nicht an, ob in der Mutterlauge das Verhältniß der isomorphen Basen dasselbe oder ein anderes war.

1) Bei Berechnung der Analysen ist letztere Zahl benutzt.

2) Journ. für praktische Chemie 55, 371. (Journ. de pharm. et de chim. XXI. 81.).

I. Schwefelsaure Talkerde $\text{Mg S} + 7 \text{H}$.

Schwefelsaures Zinkoxyd $\text{Zn S} + 7 \text{H}$.

1) Isomorphe Mischungen aus gleichviel Atg. beider Salze.

Auf 100 Gewichtstheile Bittersalz wurden 116,5 Zinkvitriol genommen. Aus der gemeinschaftlichen Auflösung wurden sechs verschiedene Anschüsse und eine geringe Menge Mutterlauge gewonnen. Sämmtliche Krystalle haben die Form der angewandten Salze.

Die relative Menge der beiden Basen in 100 Th. der Krystalle fand sich:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Talkerde	8,39	8,20	8,70	8,95	7,59	7,39
Zinkoxyd	14,53	14,20	16,25	15,75	15,94	16,55

Zunächst folgt also das Resultat, daß in den isomorphen Mischungen dieser beiden Salze in dem Verhältniß von je 1 At. ihre relative Menge im Ganzen constant ist.

Das Sauerstoffverhältniß von Talkerde und Zinkoxyd ist in:

1. = 3,35 : 2,87	4. = 3,58 : 3,11
2. = 3,28 : 2,80	5. = 3,04 : 3,13
3. = 3,50 : 3,21	6. = 2,95 : 3,26

Die Krystalle hatten sämmtlich dasselbe Ansehen. Es waren Combinationen der Flächen o , p , b und r , letztere nur als schmale Abstumpfung. Die Fläche b herrscht auf einer Seite gewöhnlich vor, fehlt selbst auf der anderen. Viele Krystalle zeigen sich an beiden Enden ausgebildet, ohne Merkmal von Hemiëdrie. Ich fand $p : p$ an $b = 89^\circ 30'$.

2) 1 At. Zinkvitriol und 2 At. Bittersalz.

Dies ist das Gewichtsverhältniß von 58 : 100. Es wurden drei Anschüsse untersucht, in denen der Procentgehalt der Basen war:

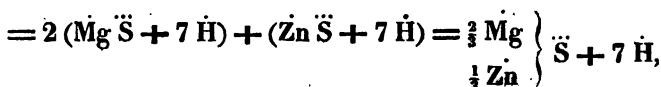
	1.	2.	3.
Talkerde	11,21	10,74	nicht bestimmt
Zinkoxyd	9,24	9,29	10,02

Das Sauerstoffverhältniß ist in

$$1. = 4,48 : 1,82$$

$$2. = 4,30 : 1,83$$

Im Allgemeinen herrscht auch hier das ursprüngliche Verhältniß. Berechnet man nämlich eine derartige isomorphe Mischung



so erhält man:

Schwefelsäure 30,84

Talkerde 10,26

Zinkoxyd 10,40

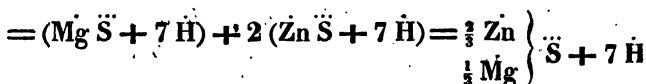
Wasser 48,50

100.

Von der Krystallform gilt das oben Bemerkte.

3) 1 At. Bittersalz und 2 At. Zinkvitriol.

Beide Salze, in dem Verhältniß von 100 : 233 Gewichtstheilen genommen, gaben mehrere Anschüsse, von denen jedoch nur der erste genauer untersucht wurde. Er gab 5,50 Proc. Talkerde und 19,35 Zinkoxyd, und hatte demnach wieder das ursprünglich gewählte Verhältniß beider Salze. Denn eine Mischung



mufs enthalten:

Schwefelsäure 29,30

Talkerde 4,88

Zinkoxyd 19,76

Wasser 46,06

100.

Man darf wohl diese Versuche als genügend für die Aufstellung des Satzes halten: *In allen isomorphen Mischungen der Sulfate von Zinkoxyd und Talkerde ist das Verhältniß beider Salze jederzeit das ursprünglich gewählte.*

Wir werden weiterhin sehen, daß dieser Fall sehr selten eintritt. Er scheint mit der ziemlich gleichen Löslichkeit beider Salze in Verbindung zu stehen (1 Th. Bittersalz in 0,8, 1 Th. Zinkvitriol in 0,9 Th. Wasser von mittlerer Temperatur).

Schäuffele löste schwefelsaures Zinkoxyd bis zur Sättigung in einer gesättigten Auflösung von schwefelsaurer Talkerde auf, und erhielt Krystalle (mit 7 At. Wasser), in denen 1 At. Zn gegen 2 At. Mg. enthalten war. Bei umgekehrtem Verfahren enthielt die isomorphe Mischung je 1 At. der Basen.

II. Schwefelsaures Eisenoxydul. $\text{Fe S} + 7 \text{H}$

Schwefelsaure Talkerde. $\text{Mg S} + 7 \text{H}$

1) Gleiche Atomgewichte.

Auf 100 Gewichtstheile Bittersalz wurden 113 Gewichtstheile Eisenvitriol genommen, und die gemeinsame Lösung in sieben verschiedenen Anschüssen zum Krystallisiren gebracht.

Die ersten Anschüsse gaben hell-grünlich-blaue Krystalle, oft von großer Schönheit, und sämmtlich von der Form des Eisenvitriols. Der fünfte Anschuß brachte aber neben diesen noch heller gefärbte Krystalle von Bittersalzform; sie erschienen im sechsten und siebenten in größerer Menge, und bildeten sich auch vorzugsweise in der Mutterlauge.

Procentischer Gehalt an den Basen:

a. In den Krystallen von Eisenvitriolform:

	1.	2.	3.	4.	5a.	- 6a.
Eisenoxydul	18,15	16,19	14,17	12,69	12,31	12,41
Talkerde	5,22	6,41	7,33	8,43	8,88	9,48

b. In den Krystallen von der Form des Bittersalzes:

	5b.	6b.	7.
Eisenoxydul	5,06	5,00	5,56
Talkerde	12,84	13,56	12,90

Man bemerkt hier zunächst eine allmähliche Abnahme des Eisen- und Zunahme des Talkerdesalzes, welche beim Auftreten der anderen Form zu einer plötzlichen wird, worauf dann das Verhältniß constant zu bleiben scheint.

Die Sauerstoffmengen von Eisenoxydul und Talkerde sind in:

<i>a</i>		<i>b</i>	
1. = 4,02 : 2,09 = 1,92 : 1		5. = 1,12 : 5,14 = 1 : 4,6	
2. = 3,59 : 2,56 = 1,4 : 1		6. = 1,11 : 5,42 = 1 : 4,9	
3. = 3,14 : 2,93 = 1,07 : 1		7. = 1,23 : 5,16 = 1 : 4,2	
4. = 2,82 : 3,37 = 1 : 1,2			
5. = 2,73 : 3,55 = 1 : 1,3			
6. = 2,75 : 3,77 = 1 : 1,38			

Diese Versuche wurden später wiederholt, und gaben sechs Anschüsse, von denen Proben zur Bestimmung der relativen Menge beider Basen dienten. Hier fanden sich die Krystalle von der Form *b* schon beim vierten Anschufs ein, und waren der Menge nach überwiegend. Der fünfte Anschufs lieferte sie allein, der sechste und siebente brachte aber noch Krystalle von *a*, wenngleich ihre Menge gegen die von *b* immer zurückstand.

a. Eisenvitriolform.

	1.	2.	3.	4.	6.
Eisenoxydul	8,874	10,926	5,958	1,53	2,673
Talkerde	2,225	2,862	4,028	2,11	1,746

b. Bittersalzform.

	4.	5.	6.
Eisenoxydul	1,332	2,205	2,196
Talkerde	3,355	5,846	4,129.

Die Sauerstoffmengen von Eisenoxydul: Talkerde sind in

<i>a.</i>		<i>b.</i>	
1. 1,97 : 0,89 = 2,2 : 1		4. 0,29 : 1,34 = 1 : 4,6	
2. 2,67 : 1,74 = 2,1 : 1		5. 0,49 : 2,34 = 1 : 4,8	
3. 1,32 : 1,61 = 1 : 1,2		6. 0,48 : 1,65 = 1 : 3,4	
4. 0,34 : 0,84 = 1 : 2,5			
6. 0,59 : 0,70 = 1 : 1,2			

Die Krystalle von Eisenvitriolform haben sich bei diesen Versuchen gebildet eben sowohl wenn das ursprüngliche Verhältniß nach der einen als auch nach der anderen Seite hin sich verändert hatte. Es scheint, daß diese Form allen Mischungen zukommt, in denen: 1) mehr als 1 At. Eisenvitriol gegen 1 At. Bittersalz; 2) gleiche Atome beider, 3) 2 — 3 At. Bittersalz gegen 1 At. Eisenvitriol vorhanden sind. Die meisten nähern sich offenbar einfachen Verhältnissen, nämlich 2 At. : 1 At., 3 : 2, 1 : 1, 3 : 4, 2 : 5 Atomen. Das Auftreten der Bittersalzform bedingt dagegen stets eine Mischung aus 1 At. Eisensalz und n At. Talkerdesalz, worin n wenigstens $= 3,5$ ist. Im Mittel der Versuche ist es $= 4,4$, und das Bemerkenswerthe liegt darin, daß es im Verlauf der Krystallbildung nicht größer wird, höchstens bis 5 zunimmt.

2) 2 At. Eisenvitriol und 1 At. Bittersalz.

Von einer Auflösung der Salze in diesem Verhältniß wurden nur die drei ersten Anschüsse untersucht. Die Krystalle hatten sämtlich Eisenvitriolform.

	1.	2.	3.
Eisenoxydul	10,818	10,485	10,125
Talkerde	1,330	1,400	1,590

Sauerstoff von Fe : Mg in

$$1. = 2,4 : 0,53 = 4,53 : 1$$

$$2. = 2,33 : 0,56 = 4,16 : 1$$

$$3. = 2,25 : 0,64 = 3,38 : 1$$

Hier war also das Eisensalz in einem noch größeren Verhältniß in die Mischung eingetreten, und die Auflösung würde wohl später erst eine Mischung von dem ursprünglichen Verhältniß geliefert haben.

3) 2 At. Bittersalz und 1 At. Eisenvitriol.

Hier wurden nur die beiden ersten Anschüsse dargestellt. Sie lieferten die Eisenvitriolform.

	1.	2.
Eisenoxydul	6,732	5,913
Talkerde	4,180	4,490

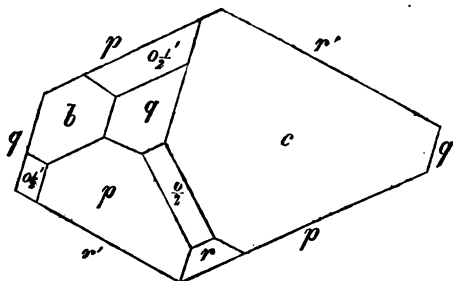
Sauerstoffgehalt in:

$$1. = 1,49 : 1,67 = 1 : 1,12$$

$$2. = 1,31 : 1,80 = 1 : 1,4$$

Diese Mischungen enthalten also nur 1 und 1,5 Atg. Talkerdesalz gegen 1 Atg. Eisensalz.

Die Krystalle von der Form des Eisenvitriols, welche die drei ersten Anschüsse der Auflösung gleicher Atome beider Salze ausmachen, zeigen den größten Flächenreichtum und zugleich eine eigenthümliche unsymmetrische Bildung. Es sind nämlich rhombische Prismen von etwa 119° und 61° , entstanden durch Ausdehnung der einen p Fläche und der hinteren schiefen Endfläche r' , welche an den scharfen Seitenkanten durch eine der Flächen q schief abgestumpft werden. In der Endigung herrscht immer eine auf letztere schief aufgesetzte Zuschärfung vor, gebildet durch c und das andere p , deren Combinationskante durch die Fläche des vorderen Augitpaares $\frac{o}{2}$ abgestumpft wird, die fast einer geraden Endfläche entspricht ($\frac{o}{2} : p = 95^\circ$). Eine auf die stumpfen Seitenkanten gleichfalls schief aufgesetzte Zuschärfung giebt die vordere schiefe Endfläche r und das andere q , zwischen denen und der Seitenfläche p einerseits $\frac{1}{2} o$, andererseits $o'\frac{1}{2}$ zum Vorschein kommen, während zwischen der Zuschärfungs- und der Seitenfläche p die Fläche b sich zeigt, und zwischen jener und der Seitenfläche die andere Fläche $o'\frac{1}{2}$ sichtbar wird. Nebestehende Figur zeigt einen Durchschnitt durch das herrschende Prisma.



Neben diesen Krystallen bemerkt man symmetrischer gebildete, welche die Combination $p, b, c, r, r', q, o\frac{1}{2}$ darstellen. Diese werden durch Vorherrschen von r' oft tafelartig.

Mit Zunahme von Talkerde in der Mischung wird die Form einfacher. Man sieht Combinationen p, q, r, r', b, c . Endlich treten die einfachen Formen aus p, c und r' auf, doch nur in verhältnißmäßig kleinen Krystallen.

An Krystallen, welche zwischen 1 und 4 At. Eisensalz gegen 1 At. Talkerdesalz enthielten, fand ich:

$p : p$ an a	$= 82^{\circ} 5'$
$p : c$	$= 98 48$
$c : r$	$= 135 36$
$c : r'$	$= 118 50$
$p : r'$	$= 118 40$
$q : b$	$= 146 0$
$\frac{o}{2} : p$	$= 138 35$
$o\frac{1}{2} : b$	$= 135 47.$

Die Krystalle von Bittersalzform, welche später fast farblos anschiesßen, sind einfache Combinationen von o und p .

Die Resultate der angeführten Versuche lassen sich so ausdrücken: Die *isomorphen Mischungen der Sulfate von Eisenoxydul und Talkerde krystallisiren in der Form des Eisensalzes, sobald entweder gegen n At. Eisensalz 1 At. Talkerdesalz, oder gegen 1 At. Eisensalz höchstens 2—3 At. Talkerdesalz vorhanden sind. Wenn sie in der Bitter-*

salzform anschließen, so enthalten sie mindestens 4 At. dieses Salzes gegen 1 At. Eisenvitriol.

Um zu erfahren, ob die Krystalle derartiger isomorpher Mischungen von homogener Zusammensetzung sind oder nicht, wurde eine gewisse Menge der gut ausgebildeten von dem ersten Anschufs der zweiten Versuchsreihe gewählt, worin sich das Verhältniß von Eisenoxydul und Talkerde = 2:1 (genauer = 2,2:1) gefunden hatte. Sie wurden unzerkleinert mit Wasser behandelt, bis etwa die Hälfte der Masse aufgelöst war, worauf der Rest für sich aufgelöst wurde. Aus beiden Flüssigkeiten wurde erhalten:

	1.	Sauerstoff.	2.	Sauerstoff.
Eisenoxydul	3,9186	0,87	1,3671	0,303
Talkerde	0,9781	0,39	0,3312	0,132

Es ist mithin das Verhältniß beider Basen in der
 äußeren Hälfte der Krystalle = 2,2:1
 inneren " " " = 2,3:1,

d. h. es ist dasselbe, und die Krystalle sind also, so weit sie sich untersuchen lassen, an den verschiedenen Stellen von gleicher Zusammensetzung.

III. Schwefelsaures Eisenoxydul. $\text{Fe}\ddot{\text{S}} + 7\text{H}$ Schwefelsaures Zinkoxyd. $\text{Zn}\ddot{\text{S}} + 7\text{H}$

Gleiche Atomgewichte.

Auf 100 Theile Eisenvitriol wurden 103 Theile Zinkvitriol angewendet. Aus der gemeinsamen Auflösung resultirten sechs Anschüsse, von denen die vier ersten ausschließlich Krystalle von der Form des Eisenvitriols, die beiden letzten solche von der Form des Zinkvitriols lieferten.

A. Form des Eisenvitriols.

	1.	2.	3.	4.
Eisenoxydul	17,30	14,16	12,91	11,00
Zinkoxyd	9,25	12,02	14,89	18,10

B. Form des Zinkvitriols.

	5.	6.
Eisenoxydul	4,75	2,69
Zinkoxyd	24,13	25,83.

Das Sauerstoffverhältniß ist hier in:

Eisenoxydul : Zinkoxyd.

- A. 1. = 3,84 : 1,82 = 2,1 : 1
 2. = 3,15 : 2,37 = 1,33 : 1
 3. = 2,86 : 2,94 = 1 : 1,03
 4. = 2,44 : 3,57 = 1 : 1,46
 B. 5. = 1,05 : 4,76 = 1 : 4,5
 6. = 0,60 : 5,09 = 1 : 8,5

Die isomorphen Mischungen von Eisenvitriolform enthielten mithin beide Salze in dem Verhältniß von 2:1, 4:3, 1:1, 2:3. Mit einem ziemlichen Sprung gehen die Mischungen alsdann in die Zinkvitriolform über, und enthalten nun die Salze in dem Verhältniß von 1:4 und 1:8.

Die Krystalle des *ersten* Anschusses zeigten fast die Farbe des reinen Eisenvitriols. Sie waren Combinationen der Flächen p , q , c , r , r' , ohne irgend eins der Augitpaare.

Der *zweite* Anschufs verhielt sich ebenso, nur war die Farbe heller.

Beim *dritten* trat dieselbe Combination auf, die Krystalle waren oft durch Verkürzung nach der Axe c tafelförmig. Andere zeigten sich durch das Gleichgewicht der p , c und r' oktaëderähnlich.

Der *vierte* Anschufs, dessen Krystalle noch heller waren, gab die viel einfachere Combination p , c , wozu r' sehr untergeordnet hinzutrat.

Die Krystalle von Zinkvitriolform boten nichts Eigenthümliches dar, die des letzten Anschusses waren so gut wie farblos.

Die isomorphen Mischungen der Sulfate von Eisenoxydul und Zinkoxyd verhalten sich ganz wie die von Eisenoxydul und Talkerde.

Löst man das eine Salz in der gesättigten Auflö-

sung des anderen auf, so erhält man nach Schäuffele in beiden Fällen Krystalle einer isomorphen Mischung, in welcher gleiche Atome der Salze enthalten sind.

IV. Schwefelsaures Manganoxydul. $\text{Mn} \ddot{\text{S}} + 5 \text{H}$
 Schwefelsaures Eisenoxydul. $\text{Fe} \ddot{\text{S}} + 7 \text{H}$

Zu gleichen Atomgewichten.

Die blasrothen Krystalle des Manganvitriols besaßen die Form des Kupfervitriols, waren aber zu genaueren Messungen nicht geeignet. Von beiden Salzen wurden gleiche Gewichtsmengen aufgelöst, und in sieben verschiedenen Antheilen krystallisirt. Die fünf ersten waren mehr oder minder *blaugrün* gefärbt, hatten die Form des Eisenvitriols und enthielten 7 At. Wasser. Die beiden letzten waren sehr *blasroth*, zeigten eine andere Form, und enthielten nur 4 At. Wasser.

A. Eisenvitriolform.

	1.	2.	3.	4.	5.
Eisenoxydul	18,19	17,06	14,34	11,42	6,94
Manganoxydul	7,96	8,78	11,55	14,03	18,76

B. Von anderer Form.

	6.	7.
Eisenoxydul	1,49	1,48
Manganoxydul	31,14	30,00.

Sauerstoffverhältniß beider Basen in:

Eisenoxydul : Manganoxydul.

A.	1.	$\equiv 4,04 : 1,79 = 2,26 : 1$
	2.	$\equiv 3,79 : 1,97 = 1,92 : 1$
	3.	$\equiv 3,19 : 2,59 = 1,23 : 1$
	4.	$\equiv 2,54 : 3,15 = 1 : 1,24$
	5.	$\equiv 1,54 : 4,21 = 1 : 2,73$
B.	6.	$\equiv 0,33 : 6,78 = 1 : 21,1$
	7.	$\equiv 0,32 : 6,76 = 1 : 20,5$

Auch hier ist die Gränze scharf bezeichnet. Denn während die Eisenvitriolform vorhanden ist, wenn die Mi-

schung das Eisensalz und das Mangansalz in dem Verhältniss von 2 : 1, 1 : 1 bis 1 : 3 enthält, entsteht eine neue Form, schon durch die Farbe kenntlich, in welcher sogleich 20 Atome Mangansalz gegen 1 Atom Eisensalz auftreten.

Die Krystalle des ersten Anschusses waren zum Theil sehr symmetrische Combinationen der Flächen p , q , c , r' , in der Richtung der Axe c prismatisch verlängert. Selten liess sich das Augitpaar $\frac{o}{2}$ beobachten. Sie waren mit einem p aufgewachsen, und in paralleler Stellung zu Aggregaten verbunden.

Der zweite Anschufs hatte eine hellere Farbe, sonst dieselben Combinationen, $\frac{o}{2}$ zuweilen ziemlich groß, auch b kam vor. Mehrfach tafelförmig, durch Verkürzung in der Richtung der Axe c .

Die folgenden Anschüsse waren successiv heller gefärbt; die Flächen reducirten sich zuletzt auf p , c , r' .

Was nun die Krystalle der zweiten Form betrifft, so waren sie anscheinend zweigliedrig und stellten Combinationen dreier zusammengehöriger Paare (Dodekaederflächen) und der drei Hexaederflächen dar, nach deren einer sie tafelförmig waren. Ihre Flächen waren matt und rauh, daher Winkelmessungen nicht möglich. Doch ist es ohne Zweifel dieselbe Form, welche das schwefelsaure Manganoxydul, annimmt, wenn es zwischen 20° und 30° krystallisiert, und welche einem Hydrat mit 4 At. Wasser zukommt. Die untersuchten Krystalle enthielten, direkter Bestimmung zufolge, 31,92 Proc. Wasser, und bei ihrem geringen Eisengehalt, so wie der nahen Uebereinstimmung der Atomgewichte von Mangan und Eisen, lassen sie einen direkten Vergleich mit dem Mangansalz zu, welches enthält:

Schwefelsäure	35,72
Manganoxydul	32,14
Wasser	32,24
	100.

Aus dem Mitgetheilten folgt: die isomorphen Mischun-

gen der Sulfate von Eisenoxydul und Manganoxydul haben die Form des Eisensalzes (und 7 At. Wasser), wenn sie n At. Eisensalz gegen 1 At. Mangansalz, oder 1 At. Eisensalz gegen höchstens 3 At. Mangansalz enthalten. Oder sie besitzen die Form des Mangansalzes (mit 4 At. Wasser), enthalten dann aber sogleich wenigstens 20 At. desselben gegen 1 At. Eisensalz.

Schäuffele erhielt durch Auflösen vom Eisensalz in der gesättigten Lösung des Mangansalzes eine isomorphe Mischung von etwa 2 At. des ersteren und 3 At. des letzteren (und 7 At. Wasser).

V. Schwefelsaures Manganoxydul. $Mn\ddot{S} + 5 H$

Schwefelsaure Talkerde. $Mg\ddot{S} + 7 H$

Gleiche Atomgewichte.

Auf 100 Theile Bittersalz kommen 98 Theile Mangansalz. Die Lösung lieferte sieben Krystallisationen. Die ersten farblos, die letzten röthlich; die drei ersten hatten die Form des Bittersalzes, die übrigen die des Eisenvitriols.

Der Procentgehalt der Basen und des Wassers (direkt bestimmt) war:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Talkerde	10,95	10,33	9,19	5,34	4,93	4,49	3,45
Manganoxydul	8,63	9,07	12,30	17,75	18,27	19,94	21,96
Wasser	49,95	49,09	48,49	47,35	47,55	47,01	

Sämmtliche Krystalle enthalten demnach 7 At. Wasser. Das Sauerstoffverhältniß ist:

Talkerde : Manganoxydul.			
1.	$= 4,38 : 1,93 = 2,27 : 1$	}	Bittersalzform.
2.	$= 4,10 : 2,03 = 2,02 : 1$		
3.	$= 3,67 : 2,76 = 1,33 : 1$		
4.	$= 2,13 : 3,98 = 1 : 1,87$	}	Eisenvitriolform.
5.	$= 1,97 : 4,10 = 1 : 2,08$		
6.	$= 1,80 : 4,55 = 1 : 2,53$		
7.	$= 1,38 : 4,92 = 1 : 3,56$		

Die beiden Salze krystallisiren folglich vorzugsweise in dem Verhältniß 2:1, 1:1, 1:2, 2:5, 2:7 zusammen.

Man kann hiernach sagen: *die isomorphen Mischungen der Sulfate von Manganoxydul und Talkerde haben, wenn sie n At. Talkerdesalz gegen 1 At. Mangansalz enthalten, die Form des Talkerdesalzes; wenn aber das Umgekehrte stattfindet, die Form des Eisenvitriols.*

Durch Auflösen vom Mangansalz in der gesättigten Lösung von Bittersalz entsteht nach Schäuuffele eine Mischung von 1 At. des ersteren und 16 At. des letzteren. Bei umgekehrtem Verfahren ist das Verhältniß = Mn : 8 Mg.

VI. Schwefelsaures Manganoxydul. $\text{Mn S} + 5 \text{H}$
 Schwefelsaures Zinkoxyd. $\text{Zn S} + 7 \text{H}$

Gleiche Atomgewichte.

Aus der Auflösung von 100 Theile Manganvitriol und 118 Theile Zinkvitriol wurden acht Krystallanschlüsse gewonnen, welche in Bezug auf Farbe mit den vorigen übereinstimmen. Die *Form* der ersten beiden Anschlüsse ist die des *Zinkvitriols*; die Flächen p, b, o . Ich fand $p:p$ an $b = 89^\circ 15'$. Die Form der übrigen ist die des *Eisenvitriols*. Gewöhnlich die Combination $p, q, r, r', c, \frac{o}{2}$.

Die Krystalle sind tafelförmig durch Ausdehnung der Fläche c . Ich fand $p:p$ an $a = 81^\circ 50'$, $r:r$ an $c = 75^\circ$, $c:r = 136^\circ$.

Der procentische Gehalt fand sich:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Zinkoxyd	21,27	20,31	13,24	12,69	12,49	12,18	11,22	9,34
Manganoxydul	6,08	7,49	13,32	14,09	14,59	14,96	15,91	17,71
Wasser	45,09	44,65	45,59	45,34	44,91	45,23	45,17	44,71

Auch hier sind überall 7 At. Wasser vorhanden.

Das Sauerstoffverhältniß der beiden Basen ist:

Zinkoxyd : Manganoxydul.

$$\left. \begin{array}{l} 1. = 4,29 : 1,35 = 3,18 : 1 \\ 2. = 4,01 : 1,61 = 2,5 : 1 \end{array} \right\} \text{Zinkvitriolform.}$$

Zinkoxyd : Manganoxydul.

3. = 2,61 : 3,02 = 1 : 1,16	} Eisenvitriolform.
4. = 2,50 : 3,16 = 1 : 1,26	
5. = 2,46 : 3,27 = 1 : 1,33	
6. = 2,40 : 3,35 = 1 : 1,4	
7. = 2,21 : 3,58 = 1 : 1,62	
8. = 1,84 : 3,97 = 1 : 2,16	

Beide Salze haben sich folglich vorzugsweise in den Proportionen 3 : 1, $2\frac{1}{2}$: 1, 1 : 1, $1\frac{1}{2}$: 1, 1 : 2 vereinigt, und die isomorphen Mischungen derselben verhalten sich wie die des Mangan- und Talkerdesulfats.

Wird das Mangansalz in der gesättigten Auflösung des Zinksalzes aufgelöst, so bildet sich nach Schäuuffele eine isomorphe Mischung, worin 1 At. Mn : 4 Zn und 7 At. Wasser. Umgekehrt erhält man eine solche, die 1 At. Zn : 4 Mn enthält, und wahrscheinlich 5 At. Wasser, und ohne Zweifel die Form des Mangan- und Kupfervitriols besitzt.

VII. Schwefelsaures Kupferoxyd. $\text{Cu}\ddot{\text{S}} + 5\text{H}$

Schwefelsaures Manganoxydul. $\text{Mn}\ddot{\text{S}} + 5\text{H}$

Zu gleichen Atomgewichten.

Die Auflösung von 100 Theilen Kupfervitriol und 97 Theilen Manganvitriol lieferte sechs Anschüsse, die ersten von der Farbe des Kupfersalzes, die späteren zwar blau, aber immer heller werdend. Die Krystalle hatten sämtlich die Form der einfachen Salze und enthielten 5 At. Wasser.

Procentgehalt der Basen:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Kupferoxyd	28,09	27,94	26,08	12,21	8,80	5,79
Manganoxydul	2,79	3,85	5,16	17,11	19,37	24,22

Sauerstoffverhältniſs:

Kupferoxyd : Manganoxydul.

$$1. = 5,69 : 0,63 = 9,0 : 1$$

$$2. = 5,63 : 0,86 = 6,5 : 1$$

Kupferoxyd : Manganoxydul.

$$3. = 5,26 : 1,16 = 4,5 : 1$$

$$4. = 2,46 : 3,83 = 1 : 1,56$$

$$5. = 1,77 : 4,34 = 1 : 2,45$$

$$6. = 1,16 : 5,39 = 1 : 4,65$$

Die einfachsten Verhältnisse, in denen die Mischung erfolgt, sind mithin 9 : 1, 6 : 1, 4 : 1, 1 : 1½, 1 : 2½, 1 : 5.

Kupfervitriol und Manganvitriol verhalten sich, wie hieraus hervorgeht, ganz anders als wie Zinkvitriol und Bittersalz, was von der sehr ungleichen Löslichkeit der beiden Salze bedingt zu seyn scheint.

Die isomorphen Mischungen der Sulfate von Kupferoxyd und Manganoxydul enthalten die Salze nicht in dem ursprünglich gewählten Verhältniß, sondern anfangs das Kupfersalz, zuletzt das Mangansalz in größerer Menge.

Löst man Manganvitriol in einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol auf, so krystallisirt nach Schäuuffele eine Mischung, die 2 Mn : Cu enthält. Bei umgekehrtem Verfahren erhält man 2 Cu : 3 Mn.

VIII. Schwefelsaures Kupferoxyd. $\text{Cu S} + 5 \text{H}$

Schwefelsaure Talkerde. $\text{Mg S} + 7 \text{H}$

Zu gleichen Atomgewichten.

Die Auflösung von 100 Theilen Bittersalz und 101 Theil Kupfervitriol gab fünf Krystallanschüsse. Schon der erste Anschuß lieferte aber Krystalle von zweierlei Form, nämlich theils dunkelblaue von der Form des Kupfervitriols, theils hellblaue von der des Eisenvitriols, letztere in geringerer Menge. Der zweite Anschuß bestand nur aus dunkleren Krystallen der ersten Art. Der dritte, vierte und fünfte dagegen hatte ausschließlic die Eisenvitriolform und eine allmählig heller werdende Farbe.

A. Von Kupfervitriolform.

1. 2.

Kupferoxyd 7,63 2,729

Talkerde 0,40 0,194

B. Von Eisenvitriolform.

	1.	3.	4.	5.
Kupferoxyd	2,18	10,97	8,95	2,98
Talkerde	1,04	9,38	9,45	4,33

Sauerstoffverhältnifs:

Kupferoxyd : Talkerde.

A. 1. = 1,54 : 0,16 = 9,6 : 1

2. = 0,55 : 0,08 = 7 : 1

B. 1. = 0,44 : 0,42 = 1 : 1

3. = 2,21 : 3,75 = 1 : 1,7

4. = 1,80 : 3,78 = 1 : 2,1

5. = 0,60 : 1,73 = 1 : 2,9

Die Krystalle *B* waren sämtlich die einfache Combination *p*, *c*, selten die Flächen *q* und *r'*.

Bei einer anderen Reihe von Versuchen wurde die Lauge nur zu zwei Anschüssen verarbeitet, deren erster die Kupfer-, der zweite die Eisenvitriolform zeigte.

	A.	B.
Kupferoxyd	29,18	15,7
Talkerde	1,75	7,4

Sauerstoffverhältnifs:

A = 5,88 : 0,68 = 8,6 : 1

B = 3,16 : 2,96 = 1,0 : 1

Man sieht hieraus, daß, wenn die Mischung beider Salze in der Form des Kupfersalzes (natürlich mit 5 At. Wasser) anschießt, stets das letztere vorherrscht, insofern die Versuche 9, 8, 7 At. desselben gegen 1 At. Talkerdesalz geben. Von da gelangt die Mischung sprungweise zu der Form des Eisenvitriols (mit 7 At. Wasser), und dann ist das Verhältnifs beider Salze wenigstens = 1 : 1, gewöhnlich sind aber auch 2 und 3 At. Talkerdesalz vorhanden.

Die isomorphen Mischungen der Sulfate von Kupferoxyd und Talkerde haben entweder die Form des Kupfervitriols (mit 5 At. Wasser) oder des Eisenvitriols (mit 7 At. Wasser). Im ersteren Fall sind mindestens 7 At. Kupfersalz gegen 1 At. Talkerdesalz in der Mischung. Im letzteren Fall ist die Anzahl der Atome gleich, oder das Talkerdesalz überwiegt.

IX. Schwefelsaures Kupferoxyd. $\text{Cu}\ddot{\text{S}} + 5\text{H}$
 Schwefelsaures Zinkoxyd. $\text{Zn}\ddot{\text{S}} + 7\text{H}$

1) Zu gleichen Atomgewichten.

100 Theile Kupfervitriol und 115 Theile Zinkvitriol gaben fünf verschiedene Krystallisationen, von denen die beiden ersten aus dunkelblauen Krystallen von der Form des Kupfervitriols, die drei letzten aus heller gefärbten von der Form des Eisenvitriols bestanden.

A. Form des Kupfervitriols.

	1.	2.
Kupferoxyd	28,50	27,25
Zinkoxyd	3,00	5,25

B. Form des Eisenvitriols.

	3.	4.	5.
Kupferoxyd	9,84	9,95	8,25
Zinkoxyd	19,43	19,25	21,80

Sauerstoffverhältnifs

Kupferoxyd : Zinkoxyd.

- A. 1. = 5,75 : 0,59 = 9,7 : 1
 2. = 5,49 : 1,04 = 5,3 : 1
 B. 3. = 1,98 : 3,83 = 1 : 1,9
 4. = 2,00 : 3,79 = 1 : 1,9
 5. = 1,66 : 4,30 = 1 : 2,6

Die Krystalle von Eisenvitriolform waren entweder die allereinfachste Combination p , c , oder es traten noch die beiden schiefen Endflächen r und r' hinzu.

2) 1 At. Kupfervitriol gegen 2 At. Zinkvitriol.

Aus einem derartigen Gemisch wurden wieder fünf Anschüsse dargestellt. Dabei zeigten sich nur in dem ersten Anschufs einzelne viel dunkler gefärbte Krystalle von Kupfervitriolform, alle übrigen hatten die Form des Eisensalzes in der vorher bemerkten einfachen Art.

	A.			B.		
	1.	1.	2.	3.	4.	5.
Kupferoxyd	8,91	5,45	7,62	8,53	5,86	2,64
Zinkoxyd	1,90	8,80	11,00	20,47	20,00	13,44

Sauerstoffverhältniß von:

Kupferoxyd : Zinkoxyd.

A. 1. = 1,80 : 0,37 = 4,8 : 1

B. 1. = 1,10 : 1,74 = 1 : 1,58

2. = 1,54 : 2,17 = 1 : 1,4

3. = 1,72 : 4,04 = 1 : 2,35

4. = 1,18 : 3,95 = 1 : 3,35

5. = 0,53 : 2,65 = 1 : 5

Auch hier enthält also die isomorphe Mischung, wenn sie die Form des Kupfersalzes (5 At. Wasser) annimmt, stets eine überwiegende Menge desselben, 5 At. und 10 At. gegen 1 At. Zinksalz. Dagegen geht bei der Eisenvitriolform der Kupfergehalt nicht allmählig, sondern plötzlich herunter, und solche Mischungen enthalten beide Salze in dem Verhältniß 1 : 1½, 1 : 2, 1 : 3 und 1 : 5.

Die isomorphen Mischungen der Sulfate von Kupferoxyd und Zinkoxyd verhalten sich den vorigen ganz ähnlich. Die Kupfervitriolform bedingt mindestens 5 At. Kupfersalz gegen 1 At. Zinksalz.

X. Schwefelsaures Kupferoxyd. $\text{CuS} + 5\text{H}$

Schwefelsaures Eisenoxydul. $\text{FeS} + 7\text{H}$

1) Zu gleichen Atomgewichten.

Aus der Auflösung von 100 Theilen Kupfervitriol und 112 Theilen Eisenvitriol wurden vier Krystallansätze erhalten, welche sämtlich die Form des letzteren, und eine in der Intensität abnehmende blaue Farbe zeigten.

In 100 Theilen fand sich:

	1.	2.	3.	4.
Kupferoxyd	10,00	11,50	14,00	15,25
Eisenoxydul	16,45	15,10	13,05	11,45

Es ist mithin das Sauerstoffverhältniß in

Kupferoxyd : Eisenoxydul.

$$1. = 2,02 : 3,65 = 1 : 1,8$$

$$2. = 2,31 : 3,36 = 1 : 1,45$$

$$3. = 2,82 : 2,90 = 1 : 1$$

$$4. = 3,09 : 2,55 = 1,2 : 1$$

Es haben sich also beide Salze in den Verhältnissen 1:2, 1:1½ und 1:1 vereinigt, und es würden sich aus der Mutterlauge demgemäß noch eisenreichere Krystalle erhalten lassen. Ausgezeichnet sind diese Mischungen durch die Einfachheit der Form, welche einzig und allein aus dem rhombischen Prisma p und der basischen Endfläche c besteht, wozu nur vereinzelt die hintere schiefe Endfläche r' tritt; sie kam erst bei dem dritten und vierten Anschuß vor, deren Krystalle etwas grünlich aussahen.

2) 1 Atg. Kupfervitriol und 2 Atg. Eisenvitriol.

Aus der Auflösung beider Salze in diesem Verhältniß wurden sechs Anschüsse gewonnen, welche, wie die vorigen, sämtlich die Form des Eisenvitriols zeigten und mehr blaugrün gefärbt waren. In dem ersten und zweiten waren einzelne Krystalle von ansehnlicher Größe, weshalb mehrere derselben zu einer besonderen Analyse (a) im Gegensatz zu den kleineren (b) dienten.

Die relative Menge der Basen fand sich:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
	<i>a.</i>	<i>b.</i>	<i>a.</i>	<i>b.</i>		
Kupferoxyd	3,320	7,570	7,48	8,52	9,480	13,750
Eisenoxydul	9,576	21,195	18,00	18,52	19,935	26,046
					20,745	11,367

Das Verhältniß des Sauerstoffs ist mithin:

$$1a. = 0,669 : 2,126 = 1 : 3,17$$

$$1b. = 1,527 : 4,700 = 1 : 3,08$$

$$2a. = 1,509 : 3,996 = 1 : 2,65$$

$$2b. = 1,718 : 4,112 = 1 : 2,39$$

$$3. = 1,912 : 4,425 = 1 : 2,31$$

$$4. = 2,77 : 5,78 = 1 : 2,09$$

$$5. = 3,42 : 4,60 = 1 : 1,35$$

$$6. = 2,58 : 2,52 = 1 : 1$$

Die Krystalle des ersten Anschusses hatten die einfachste Form, indem sie nur die Flächen p und c zeigten. Die des zweiten, dritten und vierten ließen außerdem r' , q , und $o\frac{1}{2}$ bemerken. Beim fünften und sechsten Anschufs fanden sich $\frac{o}{2}$, r und b ein.

Die beiden Salze fanden sich in diesen Mischungen in dem Verhältniß von $1:3$, $1:2\frac{1}{2}$, $1:2$ und $1:1$ vereinigt.

Ganz entgegen dem, was die Mischungen von Kupfervitriol mit Manganvitriol, Zinkvitriol und Bittersalz zeigten, daß nämlich die ersten Anschüsse das Kupfersalz in einem größeren Verhältniß enthielten, als das ursprünglich gewählt war, findet man hier, daß die zuerst sich bildenden Mischungen reicher an Eisensalz sind, und in den späteren die Menge des Kupfersalzes zunimmt. Zuletzt bilden sich allerdings blaue Krystalle von Kupfervitriolform, wie ich deren einige in der Mutterlauge der ersten Versuchsreihe bemerkt habe, die also jedenfalls mehr Kupfer- als Eisensalz-Atome enthalten müssen. Dieses Verhalten scheint denn doch zu beweisen, daß der Grad der Löslichkeit der einzelnen Salze an sich ihr Verhältniß in den Krystallen bestimmt, wenn man nicht zugeben will, daß sich in der gemeinschaftlichen Lösung ein leichter auflösliches Hydrat $\text{Cu S} + 7\text{H}$ befindet.

3) 2 Atg. Kupfervitriol und 1 Atg. Eisenvitriol.

Die in dem Verhältniß von $100:56$ Gewichtstheilen aufgelösten Salze gaben als ersten Anschufs hellblaue Prismen von der Form des Eisenvitriols. Es war die einfache Combination $p\ c$, in dem Prisma stark verlängert.

Die Analyse gab:

			Sauerstoff.
Schwefelsäure	(28,40)		17,04
Kupferoxyd	44,33	2,89	} 5,68
Eisenoxydul	12,58	2,79	
Wasser	(44,69)		39,74
	100.		

Also auch hier tritt das Kupfersalz zurück, und die Mischung, aus je 1 At. beider Salze bestehend, besitzt noch die Form des Eisenvitriols.

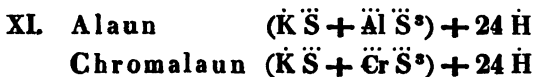
4) 4 Atg. Kupfervitriol und 1 Atg. Eisenvitriol.

Als auf 100 Theile von ersterem 28 Theile des letzteren genommen wurden, fanden sich im ersten Anschufs neben Krystallen von Eisenvitriolform auch dunkelblaue von Kupfervitriolform vor. Sie zeigten die Flächen P, p, a, o^1). Ich fand $P : p = 123^\circ 20'$, $P : a = 154^\circ 30'$. Die Analyse gab in 100 Theilen:

	Sauerstoff.
Kupferoxyd 28,60	5,77
Eisenoxydul 1,40	0,31

Hier ist 1 At. Eisensalz mit 18 At. Kupfersalz gemischt, und erst bei diesem Verhältnifs bildet sich die Kupfervitriolform, indem auch das Eisensalz als Hydrat mit 5 At. Wasser auftritt.

Aus dem Vorstehenden folgt: *die isomorphen Mischungen der Sulfate von Kupferoxyd und Eisenoxydul haben im Allgemeinen die Form des Eisenvitriols (und 7 At. Wasser) und erst bei grossem Ueberschufs des Kupfersalzes die des letzteren (und 5 At. Wasser).*



Gleiche Atomgewichte.

Löst man 100 Theile Chromalaun und 95 Theile Thonerdealaun zusammen auf, so erhält man beim freiwilligen Verdunsten stets Oktaëder, von denen die ersten heller erscheinen. Die relativen Mengen der beiden Basen in Proben von sechs verschiedenen Anschüssen waren:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Thonerde	3,40	3,00	2,34	1,50	0,47	0,2
Chromoxyd	0,91	2,33	4,53	5,11	5,13	6,5

Das Sauerstoffverhältnifs ist daher:

1) Nach Naumann's Bezeichnung.

Thonerde : Chromoxyd.

1. = 1,588 : 0,285 = 5,6 : 1
2. = 1,4 : 0,73 = 2 : 1
3. = 1,09 : 1,42 = 1 : 1,3
4. = 0,7 : 1,6 = 1 : 2,3
5. = 0,2 : 1,6 = 1 : 8
6. = 0,09 : 2,03 = 1 : 22,5

Der Chromalaun löst sich in 6 Theilen, der Thonerde-
alaun in 12 Theilen Wasser. Dem entsprechend sind die
ersten Anschüsse reicher an letzterem. Die erhaltenen Mi-
schungen zeigen beide Salze in dem Verhältnifs 5 : 1, 2 : 1,
1 : 1, 1 : 2, 1 : 8 und 1 : 22.

XII. Salpetersaurer Baryt. $\text{Ba}\overset{\text{O}}{\overset{\text{O}}{\text{N}}}$ Salpetersaures Bleioxyd. $\text{Pb}\overset{\text{O}}{\overset{\text{O}}{\text{N}}}$

Gleiche Atomgewichte.

Auf 100 Theile Barytsalz wurden 127 Theile Bleisalz
genommen, und daraus sieben Krystall-Anschüsse darge-
stellt. Sämmtliche Krystalle waren Oktaëder mit den Flä-
chen des Würfels.

Die relative Menge beider Basen in Proben von die-
sen Krystallen (*a* sind gröfsere, *b* kleine Krystalle) fand sich:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
<i>a.</i>							
<i>b.</i>							
Baryt	8,974	9,526	15,99	16,30	13,50	6,73	2,383
Bleioxyd	2,938	2,677	8,22	17,62	35,35	44,12	28,858
							31,413

Verhältnifs des Sauerstoffs:

Baryt : Bleioxyd

- 1a. = 0,94 : 0,21 = 4,4 : 1
- 1b. = 0,99 : 0,19 = 5,2 : 1
2. = 1,67 : 0,59 = 2,84 : 1
3. = 1,70 : 1,26 = 1,34 : 1
4. = 1,41 : 2,53 = 1 : 1,8
5. = 0,70 : 3,16 = 1 : 4,5
6. = 0,25 : 2,07 = 1 : 8,3
7. = 0,20 : 2,25 = 1 : 11,2

Kein Anschufs hatte das ursprüngliche Verhältniß wieder gegeben, obgleich sich voraussetzen läßt, daß einzelne Krystalle des dritten dasselbe gezeigt haben würden. Die Mischungsverhältnisse sind im Allgemeinen 5:1, 3:1, (1:1), 1:2, 1:4, 1:8 und 1:11. Auch hier entspricht der Wechsel der Mischung der ungleichen Löslichkeit beider Salze. Denn 1 Theil Barytsalz erfordert 12 Theile, 1 Theil Bleisalz 7,5 Theile Wasser zur Auflösung ¹⁾. Deshalb findet sich das Barytsalz in den ersten Anschüssen in überwiegender Menge.

XIII. Schwefelsaures Kali. K_2SO_4 Chromsaures Kali. $K_2Cr_2O_7$

Gleiche Atomgewichte.

Aus der Auflösung von 100 Theilen schwefelsauren Kalis und 112 Theilen chromsauren Kalis wurden drei Anschüsse erhalten, sämmtlich von intensiv-gelber Farbe und der Form beider Salze.

	1.	2.	3.
Schwefelsäure	43,66	42,24	14,64
Chromsäure	2,94	7,24	36,32
Kali	53,61		
	<hr/> 100,21		

Das Verhältniß des Sauerstoffs beider Säuren ist:

Schwefelsäure : Chromsäure.

$$1. = 26,16 : 1,35 = 19,4 : 1$$

$$2. = 25,30 : 3,31 = 7,6 : 1$$

$$3. = 8,77 : 16,72 = 1 : 1,9$$

Die Mischungsverhältnisse beider Salze sind mithin etwa = 20:1, 7:1, 1:2. Da das schwefelsaure Kali ungefähr 9 Theile, das chromsaure nur 2 Theile Wasser zur Auflösung bedarf, so steht das Resultat auch hier mit der Löslichkeit im Verhältniß.

1) Nach der Angabe Mitscherlich's. Die Angaben von Karsten und Kopp in Gmelin's Handbuch sind offenbar unrichtig, schon deshalb, weil sie eine geringere Löslichkeit bei höherer Temperatur voraussetzen. Poggendorff's Annal. Bd. XCI.

Schließlich verdienen die Versuche Monheim's¹⁾ erwähnt zu werden, welche ebenso deutlich zeigen, daß die Löslichkeit zweier isomorphen Salze die Zusammensetzung ihrer Mischungen im Allgemeinen bestimmt.

Derselbe erhielt nämlich aus der Auflösung gleicher Atomgewichte von *schwefelsaurem Kali* und *schwefelsaurem Ammoniak* fünf Anschüsse von folgender Zusammensetzung:

	1.	2.	3.	4.	5.
Schwefelsaures Kali	89,96	79,29	50,72	37,88	13,79
" Ammoniak	10,04	20,71	41,28	62,12	86,21

worin das Atomverhältniß ist:

8,25	7,27	5,4	3,48	1,72
1,21	2,50	5,0	7,52	10,43

Oder nahezu 1:6, 1:3, 1:1, 2:1, 6:1.

Monheim stellte durch Kochen von *Chlorsilber* mit *Chlornatriumauflösung* (und Chlorwasserstoffsäure) isomorphe Mischungen von der Form beider Salze dar, die von 35,04 bis 2,55 pC. Chlorsilber enthielten und in denen auf 1 At. dieses Salzes 4,4—9—16—20 bis 95 At. Na Cl enthalten waren.

Nach Mitscherlich vereinigen sich *Kupferchlorür* und *Chlorkalium* in dem Atomverhältniß von 1:2, aber die Verbindung ist nicht isomorph mit ihren Bestandtheilen. Monheim erhielt aber außerdem regulär krystallisirte isomorphe Mischungen beider Salze, in welchen die Atome des Kupfer- und Kaliumsalzes = 1:3, 4:5, 3:2 waren.

2) Verhandlungen des naturhistorischen Vereins der preuß. Rheinlande, IX. Jahrgang.

II. Ueber die Unterbrechung des Schliessungsbogens der elektrischen Batterie durch einen Condensator; von Peter Riefs.

(Aus den Berichten der Akademie 3. November 1853.)

In einer, der Akademie im Jahre 1850 vorgelegten, Abhandlung habe ich den elektrischen Strom untersucht, der sich in einem durch Condensatorflaschen unterbrochenen Drahte bewegt. Es wurde dieser Draht auf die einfachste Weise benutzt, die Belegungen einer geladenen Batterie mit einander zu verbinden, und dadurch, und eben nur dadurch, die Möglichkeit gewonnen, die Gesetze einer eigenthümlichen und verwickelten Strombewegung zu ermitteln. So konnte aus den Versuchen eine Formel abgeleitet werden für die Stärke des Stromes nach der Anzahl der benutzten Batterie- und Condensatorflaschen, eine Formel, die seitdem durch eine, nach einem theoretischen Principe von Clausius¹⁾ geführte, Rechnung eine erfreuliche Bestätigung erhalten hat; es konnte die Abhängigkeit der Stromstärke von der Beschaffenheit der gebrauchten Drähte, von der Einschaltung eines zweiten Condensators, und manche andere Eigenthümlichkeit des Stromes näher angegeben werden.

Der unterbrochene Draht ist indess noch auf andere Weise zu benutzen; man kann ihn als Zweig an einen vollen Schliessungsbogen anlegen, ihn in einer Nebenschliessung anbringen und so fort. Dann erhält man Wirkungen vom Drahte oder von den mit ihm zusammenhängenden Theilen, die mit den an einem vollen Schliessungsbogen erhaltenen Wirkungen nicht übereinstimmen, die aber nur auffallen können, wenn man sie von einer einfachen Ursache ableitet, und die große Verwicklung der dabei thä-

1) Poggendorff's Annal. 86. 364.

tigen Ursachen übersieht¹⁾). Solche Versuche sind von untergeordneter Bedeutung in der Elektrizitätslehre, die es zur Aufgabe hat, die verschiedenen Wirkungsarten der Elektrizität möglichst zu isoliren und rein hervortreten zu lassen, aber sie können praktisch wie theoretisch nützlich werden, indem sie einerseits eine Anordnung des Apparates vermeiden lehren, welche verschiedenartige Bewegungen der Elektrizität gleichzeitig veranlaßt, andererseits Gelegenheit geben, die zusammengesetzte Wirkung auf die einfache zurück zu führen, und damit bereits erkannten Gesetzen eine neue Bestätigung oder Erweiterung hinzuzufügen. Ich habe in dem Folgenden einige solche, und zwar die relativ einfachsten, Fälle einer verwickelten elektrischen Wirkung behandelt und mich bemüht, ihre Abhängigkeit von der einfachen Wirkung darzulegen, dabei aber nicht vergessen, daß es sich zumeist um specielle Fälle handelt, bei welchen eine scharf messende Untersuchung nicht nur unnütz, sondern sogar dem beabsichtigten Zwecke schädlich sein würde. Ich werde deshalb nur runde Verhältniszahlen mittheilen, wo es allein um den Gang einer Erscheinung zu thun ist, und dieser Gang durch eine geringe Aenderung des Apparates eine andere Gestalt annehmen würde.

Der unterbrochene Bogen als Zweig.

Strom im unterbrochenen Zweige. Es wurde ein unterbrochener Schließungsbogen gebildet: von dem einen Arme eines Henleyschen Ausladers, der mit dem Entladungsapparate der Batterie in Verbindung stand, wurde ein 29 Zoll langer $\frac{5}{8}$ Linie dicker Kupferdraht zu dem Ansätze eines elektrischen Thermometers geführt, in dessen Kugel sich

1) Die neueste Arbeit dieser Art befindet sich unter dem Titel: über die inducirte Ladung der Nebebatterie in ihrem Maximum, von Knochenhauer in Meiningen, im Märzhefte 1853 der Sitzungsberichte der Wiener Akademie. Man findet dort die Schlagweite in dem einen Zweige einer Nebenschließung untersucht, deren anderer Zweig durch Condensatorflaschen unterbrochen ist.

ein 115 Linien langer Platindraht von 0,0185 Lin. Radius befand, und von dessen anderem Ansatz ein 67 Zoll langer $\frac{1}{2}$ Lin. dicker Kupferdraht zu dem Inneren mehrerer Condensatorflaschen ging. Die äußere Belegung dieser Flaschen war durch einen 44 Zoll langen, $\frac{5}{8}$ Lin. dicken Kupferdraht mit dem zweiten Arme des Ausladers verbunden, der durch kurze Kupferdrähte und einen 84,2 Linien langen Platindraht von 0,0405 Lin. Radius mit der kupfernen Ableitung zusammenhing, die zur äußeren Belegung der Batterie führte. Es ist dies die Anordnung des Apparates, die in der oben berührten Abhandlung gebraucht wurde. Jede Flasche der Batterie hatte, wie dort, eine innere Belegung von 2,6, jede Condensatorflasche eine Belegung von 1,5 Quadratfuß. Wenn die Batterie geladen war, wurde die Verbindung der äußeren Belegungen des Condensators und der Batterie bewirkt, und der Entladungsapparat stellte die Verbindung der inneren Belegungen beider Apparate her. Der elektrische Strom, der durch den unterbrochenen Bogen ging, erwärmte das Thermometer und erhielt für die Einheit der Ladung die folgenden Werthe, die aus 3 Beobachtungen hergeleitet sind. Es wurden drei Batteriefaschen gebraucht.

Condensatorflaschen	1	2	3	4	5
Strom für Einheit d. Lad. a'	0,31	0,49	0,63	0,74	0,83

Diese Werthe schliessen sich der früher abgeleiteten Formel genügend an: $\Theta = a' \frac{q^2}{s}$, $a' = \frac{a}{\frac{s}{c} + 0,577}$, wo Θ die

beobachtete Erwärmung, s die Zahl der Batteriefaschen, c die der Condensatorflaschen, q die Elektrizitätsmenge bedeutet, und für a der Mittelwerth 0,99 gesetzt worden ist.

Es wurden nun die beiden Arme des Ausladers durch einen 23 Zoll langen, $\frac{5}{8}$ Linien dicken, Kupferdraht mit einander verbunden, so daß ein verzweigter Schließungsbogen entstand, in welchem der eine Zweig voll war und aus jenem Kupferdrahte gebildet wurde, der andere Zweig unterbrochen war, und die oben beschriebenen Kupferdrähte nebst dem Platindrahte des Thermometers enthielt.

Nachdem die Erwärmungen des Thermometers bei Anwendung von 3 Batteriefaschen und einer verschiedenen Anzahl von Condensatorflaschen beobachtet waren, wurden im vollen Zweige an die Stelle des langen Kupferdrahtes zwei, 7 Zoll lange, $\frac{1}{8}$ Linien dicke, Kupferdrähte gesetzt, zwischen ihnen ein Platindrabt von 84,2 Lin. Länge, 0,0405 Lin. Radius angebracht, und die Erwärmungen aufs Neue beobachtet. Folgende sind die Erwärmungen im unterbrochenen Zweige für Einheit der Ladung der Batterie, die aus je drei Beobachtungen hergeleitet sind.

Im unterbr. Zweige:

Condensatorflaschen	1	2	3	4	5
Erwärmung b. voll.					
Kupferzweig	0,05	0,22	0,51	0,57	0,47
Erwärmung b. voll.					
Platinzweig	0,046	0,16	0,36	0,39	0,35

Es fällt hier sogleich auf, daß die Erwärmungen im unterbrochenen Zweige durchgängig geringer sind, wenn der volle Zweig aus Platin, als wenn er aus Kupfer bestand, ein Zeichen, daß diese Erwärmungen nicht von einem einfachen Theilstrome herrühren. Der durch Theilung des Hauptstromes entstandene Strom ist nach bekanntem Gesetze in einem Zweige desto stärker, je geringer das Leitungsvermögen des andern Zweiges ist. Hier findet das Entgegengesetzte statt und läßt noch auf eine andere Electricitätsbewegung schließen. Die Condensatorflaschen, die durch den Theilstrom geladen sind, werden wieder entladen, und der volle Zweig macht einen Theil ihrer Schließung aus. Diese beiden Ströme — der aus der Batterie in den Condensator tretende Strom und der Entladungsstrom des Condensators — verfolgen offenbar im unterbrochenen Zweige entgegengesetzte Richtungen, und die Größe ihrer vereinigten Wirkung zeigt, was sich später bestätigen wird, daß diese Ströme von einander getrennt sind, und in der Zeit nach einander wirken. Die im Thermometer des unterbrochenen Zweiges beobachtete Erwärmung ist demnach die Summe der Wirkungen zweier Ströme,

die mit der einfachen Wirkung eines Stromes nicht unmittelbar zu vergleichen ist. Läßt man, bei ungeänderten Zweigen, die Zahl der benutzten Condensatorflaschen zunehmen, so nimmt der in den Condensator tretende Strom zu, da er eine wachsende Elektrizitätsmenge erhält, der aus dem Condensator tretende Strom nimmt ab, weil seine Dichtigkeit im (umgekehrten) Verhältnisse der benutzten Flaschen abnimmt, seine Elektrizitätsmenge in einem geringeren Verhältnisse wächst. Beide Ströme werden aber ferner in sehr verwickelter Weise geändert. Ich habe bei der Untersuchung der Stromtheilung in vollen Zweigen wahrscheinlich gemacht, daß in jedem Zweige durch den darin sich bewegenden Strom ein Nebenstrom erregt wird, der durch den anderen Zweig abfließt. Ein Nebenstrom schwächt einen Hauptstrom, wenn er mit ihm in gleicher Richtung, und verstärkt ihn, wenn er in entgegengesetzter Richtung fließt. Der in den unterbrochenen Zweig eintretende Hauptstrom wird daher geschwächt durch den in demselben Zweige erregten Nebenstrom, verstärkt durch den im vollen Zweige erregten. Durch die vermehrte Zahl der Condensatorflaschen kann der verstärkende Nebenstrom nur wenig geändert werden, weil er zwar zunimmt mit Vergrößerung der Condensatorfläche, die seinen Bogen unterbricht, aber abnimmt, indem er von einem schwächeren Hauptstrome im vollen Zweige erregt wird. Der schwächende Nebenstrom im unterbrochenen Zweige wird mit Vermehrung der Condensatorflaschen unbedingt stärker, weil er von einem stärkeren Hauptstrome erregt wird und sich zugleich auf eine größere Condensatorfläche verbreiten kann. Was den aus dem Condensator tretenden Strom betrifft, so erfährt dieser nur die Einwirkung eines ihn schwächenden Nebenstromes, der in dem unterbrochenen Zweige erregt wird und mit der Vermehrung der Condensatorflaschen zunimmt. Nehmen wir daher auch an, daß die erregten Nebenströme zu schwach sind, um unmittelbar die Erwärmung im Thermometer oder die Ladung des Condensators zu ändern, so ergibt sich doch schon

eine grofse Verwicklungung der, die Erwärmung im unterbrochenen Zweige bestimmenden Ursachen. Diese Erwärmung ist Folge zweier entgegengesetzt gerichteten Ströme, von welchen der eine in den Condensator hinein, der andere aus ihm heraustritt. Mit Vermehrung der Condensatorflaschen nimmt der erste Strom an Stärke zu, der zweite ab, so aber, dafs die Summe ihrer Wirkungen fortwährend steigen würde. Beide Ströme werden aber in ihrem Gange mehr und mehr durch die erregten Nebenströme aufgehalten, und es mufs daher eine Gränze eintreten, an welcher die Steigerung der Erwärmung in eine Abnahme übergeht. Dieser Gang der Erscheinung ist in dem mitgetheilten Versuche sehr auffällig. Bei vollem Kupferzweige steigt die Erwärmung im unterbrochenen Zweige mit 1. und 2 Condensatorflaschen im Verhältnisse 1 zu 4,4; bei 2 und 4 Flaschen nur wie 1 zu 2,6 und von 4 bis 5 Flaschen nimmt sie ab; dasselbe Verhalten findet bei Anwendung des vollen Platinzweiges statt.

Der Gang der Erwärmung im unterbrochenen Zweige mit Vermehrung der Condensatorflaschen und damit die Gränze, wo die Zunahme der Erwärmung in eine Abnahme übergeht, hängt nicht allein von dem Verhältnisse der angewandten Batterie- und Condensatorflächen ab, sondern auch von der Beschaffenheit der Zweige, und man kann demnach und nach der Ausdehnung, die der Versuchsreihe gegeben wird, die Erwärmung zunehmend oder abnehmend, oder constant erhalten. Ich werde solche Fälle bei der Erwärmung im vollen Zweige anführen, die eine ähnliche Verwicklungung darbietet, wie die hier betrachtete, und füge hier nur noch einen Versuch hinzu, in welchem die Schwächung der Erwärmung durch die Nebenströme besonders deutlich hervortritt.

Wenn man im einfachen unterbrochenen Schließungsbogen der Batterie die Zahl der Condensator- und Batteriefaschen in gleichem Verhältnisse zunehmen läfst, so bleibt nach der oben angeführten Formel $\alpha' = \frac{a}{\frac{a}{c} + 0,577}$,

da $\frac{s}{c}$ sich nicht ändert, die Erwärmung für die Einheit der Ladung constant. Als die Erwärmung im unterbrochenen Zweige unter dieser Bedingung untersucht wurde, fand ich bei Anwendung des vollen Kupfer- und Platinzweiges die folgenden Werthe.

Batterie- und Condensatorflaschen:	2	3	4	5
Erwärmung im unterbrochenen Zweige				
bei vollem Kupferzweige	0,55	0,52	0,47	0,42
Erwärmung im unterbrochenen Zweige				
bei vollem Platinzweige	0,35	0,34	0,31	0,27

Bei diesen Versuchen war das Verhältniß der Dichtigkeit des aus dem Condensator tretenden Stromes zu der des eintretenden constant, während es in den früheren Beispielen mit Vermehrung der Condensatorflaschen abgenommen hatte. Wenn bei 2 Batteriefaschen der Hauptstrom mit der Dichtigkeit 1 in den Condensator eintritt und mit der Dichtigkeit n austritt, so wird bei 4 Batteriefaschen, wo der eintretende Strom die Dichtigkeit $\frac{1}{2}$ besitzt, der austretende die Dichtigkeit $\frac{n}{2}$ haben, weil die Zahl der Condensatorflaschen verdoppelt worden ist. Setzt man also, wie bei der Berechnung der Erwärmungen geschehen ist, den Entladungsstrom der Batterie constant, so ist die Dichtigkeit des in den Condensator eintretenden und austretenden Stromes ebenfalls constant. Eine Verminderung der Elektrizitätsmenge in dem Theilstrome des unterbrochenen Zweiges mit Vermehrung der Condensatorflaschen ist in keiner Weise anzunehmen, so daß die beobachtete Verminderung der Erwärmung allein den in den Zweigen erregten Nebenströmen zugeschrieben werden kann.

Strom im vollen Zweige. Durch den vollen Zweig eines Schließungsbogens, neben dem ein unterbrochener Zweig angelegt ist, geht ersichtlich dieselbe Elektrizitätsmenge, die sich im ganzen ungetheilten Hauptstrome befindet, also dieselbe Menge, die das den vollen Zweig bildende Drahtstück durchströmt, wenn der unterbrochene

Zweig fehlt. Aber diese Menge geht durch das im einfachen Schließungsbogen liegende Drahtstück mit gleicher, der Oberfläche der Batterie entsprechenden, Dichtigkeit in Einem Strome, durch das Drahtstück hingegen, das im Zweige liegt, in zwei aufeinanderfolgenden gleichgerichteten Strömen, von welchen der erste Strom die der Batterie entsprechende Dichtigkeit besitzt, der zweite hingegen die der Condensatorfläche entsprechende Dichtigkeit. Vermehrt man in successiven Versuchen die Zahl der Condensatorflaschen, so wird der Strom mit constanter Dichtigkeit eine immer geringere Elektrizitätsmenge, der mit veränderlicher Dichtigkeit eine immer grössere Menge erhalten, und diese letzte mit immer geringerer Dichtigkeit versehen werden. Es muß hiernach die Summe der Wirkungen der beiden Ströme mit zunehmender Zahl der Condensatorflaschen fortwährend abnehmen. In der That läßt sich der Apparat so einrichten, daß dieß vorhergesehene Ergebniss bemerklich wird. Es wurde der oben beschriebene Schließungsbogen mit dem vollen Platinzweige gebraucht. Um das Wesentliche dieser Anordnung zu wiederholen: im vollen Zweige befand sich ein Platindraht von 84,2 Lin. Länge, 0,0405 Lin. Radius, und ein gleicher Draht im Stamme; der unterbrochene Zweig enthielt einen Platindraht von 115 Lin. Länge 0,0185 Lin. Radius. Der Platindraht des vollen Zweiges wurde in die Kugel des Thermometers eingeschlossen und dessen Erwärmung untersucht. Ehe der unterbrochene Zweig angelegt war, fand ich die Erwärmung für die Einheit der Ladung 0,32 wofür in der folgenden Tafel 100 gesetzt ist. Nach Anlegung des Zweiges erhielt ich mit 3 Batterie- und einer veränderlichen Zahl von Condensatorflaschen die folgenden Verhältnisse der Erwärmung im vollen Zweige.

Ohne unterbrochenen Zweig.	Mit demselben und Condensatorflaschen				
	1	2	3	4	5
100	103	94	81	72	65

Daß die Erwärmung im vollen Zweige nach Anlegung des unterbrochenen Zweiges in der zweiten Beobachtung

stärker ist, als vorher, wird weiterhin in noch höherem Maasse bemerkt werden und hat Nichts Auffälliges. Die vorher durch den Draht in Einem Strome gehende Elektrizitätsmenge geht nach Anlegung des unterbrochenen Zweiges in zwei Strömen hindurch, von welchen der zweite Strom die dem Condensator entsprechende Dichtigkeit besitzt. Mit Vermehrung der Condensatorflaschen nahm die Erwärmung im vollen Zweige fortwährend ab. Als indess diese Versuchsreihe wiederholt wurde, nachdem der dünne Platindraht und ein Kupferdraht aus dem unterbrochenen Zweige fortgelassen war, dieser Zweig also aus zwei Kupferdrähten bestand, von welchen der eine, 44 Zoll lang $\frac{5}{8}$ Lin. dick, zu der äusseren, der andere, 67 Zoll lang $\frac{1}{4}$ Lin. dick, zu der inneren Belegung des Condensators führte, erhielt ich die folgenden Werthe der Erwärmung im vollen Zweige.

Mit 3 Batteriefaschen.

Ohne unterbrochenen Zweig.	Mit demselben; Condensatorfl.	1	2	3	4	5
Erwärm. 100		108	111	116	108	77

Mit 4 Batteriefaschen.

100	108	108	108	111	108
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Mit 5 Batteriefaschen.

100	107	merklich constant.
-----	-----	--------------------

Als der Platindrath im Strome fortgelassen war, wodurch die Erwärmung ohne unterbrochenen Zweig auf 0,39 stieg, fand ich mit 3 Batteriefaschen die Werthe der Erwärmung:

100	102	105	105	77	61
-----	-----	-----	-----	----	----

Es geht aus diesen Versuchen hervor, daß die Abnahme der Erwärmung im vollen Zweige mit Vermehrung der benutzten Condensatorflaschen keine allgemein gültige Erscheinung ist, und daß man durch Aenderung des Leitungsvermögens der Zweige und des Verhältnisses der constanten Batterie zu der Fläche einer Condensatorflasche, mit Vermehrung dieser Flaschen eine zunehmende oder eine constante Erwärmung erhalten kann. Die Bedingungen, von welchen die Erwärmung im vollen Zweige abhängt,

dürfen daher nicht allein in der Theilung des Hauptstromes gesucht werden, sondern auch in den von beiden Theilen des Stromes erregten Nebenströmen, die im vorigen Abschnitte erwähnt wurden. Es ist hier der Nebenstrom der einflußreichste, der von dem in den Condensator eintretenden Strome erregt wird, da der ihn erregende Hauptstrom eine constante Dichtigkeit und eine mit der Zahl der Condensatorflaschen zunehmende Elektrizitätsmenge besitzt. Dieser Nebenstrom fließt dem Theilstrome im vollen Zweige entgegen und wird diesen daher verstärken. Ob diese Stärkung hinreichend ist, die normale Schwächung der Erwärmung im vollen Zweige zu überwiegen, ist in den bisher vorgetragenen Versuchen nicht vorher zu bestimmen gewesen, weil die Aenderungen des Apparates die Bedingungen, von welchen die Erwärmung abhängt, in verschiedenem Sinne änderten, so daß die Seite nicht anzugeben war, nach der die überwiegende Wirkung fiel. Es war mir daher erwünscht, eine Versuchsreihe anstellen zu können, bei welcher die Wirkung der Nebenströme nach früheren Erfahrungen anzugeben war. Es bleibe Batterie, Condensator und voller Zweig ungeändert, und der Verzögerungswerth des unterbrochenen Zweiges werde durch Einschaltung von steigenden Längen eines Drahtes successiv vergrößert. Nach dem Gesetze der Stromtheilung tritt in dem vollen Zweige ein immer stärkerer Strom auf, der weder durch den immer schwächer werdenden Strom im unterbrochenen Zweige, noch von dem, durch diesen Strom erregten, Nebenstromen eine wesentliche Aenderung erleiden kann. Es bleibt also überwiegend die Wirkung des im vollen Zweige erregten Nebenstromes, der eine successiv schlechtere Leitung erhält. Die Wirkung eines solchen Nebenstromes auf den ihn erregenden Hauptstrom ist bekannt; sie besteht in einer Schwächung des Hauptstromes, die bis zu einer bestimmten Länge der Drahtleitung des Nebenstromes zunimmt und mit weiterer Verlängerung abnimmt, so daß im Verlaufe der Versuchsreihe der Hauptstrom bis zu einer Gränze abnimmt und

zuletzt seinen anfänglichen Werth wieder erreicht. Dieser eigenthümliche Gang läßt sich am Strome des vollen Zweiges leicht aufzeigen. An den vollen Zweig, der das Thermometer enthielt, wurde ein unterbrochener Zweig angelegt, indem ein Kupferdraht zu der äusseren, ein anderer, aus zwei Theilen bestehender, Kupferdraht zu der inneren Belegung des Condensators geführt wurde. Zwischen die Enden des letzteren Drahtes wurden zunehmende Längen eines Platindrahtes von 0,0286 Lin. Radius eingeschaltet. Ich bestimmte bei Anwendung von 3 Condensator- und Batteriefaschen die Erwärmung im vollen Zweige, die den Werth 0,26 hatte, ehe der unterbrochene Zweig angelegt war.

Ohne Zweig.		Mit demselben und	
		Platindraht (Fusse)	
		0	0,49 1,47 3,97
Wärme im			
voll. Zweige	100	119	88 77 84
Platindraht		7,9	15,9 59,5 103,2
Wärme im voll. Zweige	92 96	100	100

Die Erwärmung im vollen Zweige, die, als der unterbrochene Zweig nur Kupferdraht enthielt, den Werth 119 besaß, wurde durch Einschaltung von 1,47 Fufs Platindraht bis 77 geschwächt und stieg durch weitere Verlängerung des eingeschalteten Drahtes, bis sie bei Einschaltung von 59,5 Fufs Draht den Werth 100 erreichte, den sie vor Anlegung des Zweiges besessen hatte und der durch weitere Verlängerung des Drahtes nicht zu steigern war.

Strom im Stamme. Wenn man den Entladungsstrom an einer Stelle eines einfachen Schließungsbogens mißt, und dann an einer andern Stelle des Bogens einen vollen Zweig anlegt, so giebt die wiederholte Messung in den meisten Fällen einen stärkern Strom an. Die Erwärmung, durch die der Strom gemessen wird, wächst nämlich mit der durch den ganzen Bogen strömenden Elektrizitätsmenge und mit abnehmender Dauer der Entladung der Batterie. Die Elektrizitätsmenge bleibt constant, der Bogen mag einfach oder verzweigt seyn, aber die Entladungsdauer nimmt offenbar

ab, wenn ein voller Zweig an den Bogen gelegt wird, und der Strom muß dadurch in gleicher Weise an Stärke zunehmen, als wenn der Bogen an der Stelle der Verzweigung eine grössere Dicke erhalten hätte. Aus gleichem Grunde darf eine Verstärkung des Stromes im Stamme erwartet werden nach Anlegung eines unterbrochenen Zweiges, da es für die Entladung der Batterie gleichgültig ist, ob ein Theil ihrer Elektricität, statt neutralisirt zu werden, sich in den Belegungen der Condensatorflaschen anhäuft, und die Entladung der Condensatorflaschen erst nach der Gesamtentladung der Batterie eintritt, also auf den beobachteten Strom keinen Einfluss haben kann. — Ich habe indess früher bei der Untersuchung des Stromes in vollen Zweigen den Fall angeführt, in welchem an den Kupferdraht des Hauptbogens ein langer, dünner Platindraht als Zweig angelegt war, und wonach der Strom im Stamme, der Regel zuwider, nach Anlegung des Zweiges geringer war, als zuvor. Eine Erklärung dieser Erscheinung ist in dem Nebenstrom zu finden, der in dem besser leitenden Zweige erregt worden, und der bei grosser Verschiedenheit beider Zweige den Gang des in dem besser leitenden Zweige fliessenden Hauptstromes hinlänglich verzögerte, um die beobachtete Schwächung des Stromes im Stamme hervorzubringen. Es kann nun nicht auffallen, daß dieser, bei vollen Zweigen ungewöhnliche, Fall der gewöhnliche wird, wenn der eine Zweig voll, der andere durch Condensatorflaschen unterbrochen ist. Ist die benutzte Condensatorfläche nur klein im Verhältnisse zur benutzten Batteriefäche, so geht der grösste Theil der in der Batteriefäche angehäuften Elektricität durch den vollen Zweig, und der in diesem Zweige erregte Nebenstrom verzögert den darin fliessenden Hauptstrom so bedeutend, daß die Entladungszeit der Batterie grösser wird, als sie vor Anlegung des Zweiges war. Wird die Anzahl der Condensatorflaschen vermehrt, so geht eine geringere Elektricitätsmenge durch den vollen Zweig. Der Nebenstrom in diesem Zweige würde also schwächer als früher seyn, wenn

er nicht zugleich dadurch gestärkt würde, daß er sich auf eine größere Condensatorfläche verbreiten kann. Der in dem unterbrochenen Zweige erregte Nebenstrom wird den Hauptstrom im vollen Zweige beschleunigen, und zwar desto mehr, je größer die Zahl der benutzten Condensatorflaschen ist, weil der Nebenstrom dadurch an Stärke zunimmt. Es ist bei diesem Vorhandensein einander entgegenwirkender Ursachen, die den Gang des Hauptstromes bestimmen, erklärlich, daß mit Vermehrung der Condensatorflaschen der Strom im Stamme bis zu einem Minimum geschwächt und dann fortdauernd gestärkt wird, so daß er einen höheren Werth erhalten kann, als er vor Anlegung des Zweiges besaß. Das Minimum, das der Strom erreicht, wie die Größe der Abnahme und Zunahme mit gleichmäßiger Vermehrung der Condensatorflaschen, hängt nicht allein von dem Verhältnisse der Batterie zu einer Condensatorflasche sondern auch von der Beschaffenheit der Zweige ab, wie aus den folgenden Versuchen deutlich hervorgeht. Es wurden hierbei überall 3 Batteriefaschen gebraucht, und im Stamme befand sich ein Platindraht von 84,2 Lin. Länge, 0,0405 Lin. Radius, dessen Erwärmung für die Einheit der Ladung berechnet, den Werth des Stromes angab.

	Ohne unterbro-	Mit demselben;					
	chenen Zweig.	Condensatorfl.	1	2	3	4	5
(voller und unterbrochener Zweig: Kupferdrähte)							
Strom im Stamme	100		100	89		93	
(voller Zweig: Kupfer; unterbrochener Zweig: Platin 0,49 Fufs rad. 0,0286 Lin.)							
	100		98	77		91	
(voller Zw.: Platin 84,2 Lin. 0,0405 rad. unterbr.: Kupfer)							
	100		92	85	77	85	104
(voller Zw. wie vorher; unterbroch. Platin 115 Lin. 0,0185 rad.)							
	100		91	83	75	83	88

Man sieht in diesen Versuchen den Strom im Stamme mit vermehrter Zahl der Condensatorflaschen abnehmen und dann wieder zunehmen; in der dritten Versuchsreihe

übersteigt der Werth des Stromes bei 5 Condensatorflaschen den, welchen er vor Anlegung des Zweiges besaß.

Bei fortgesetzter Verlängerung eines Drahtes im unterbrochenen Zweige nimmt der Strom im Stamme bis zu einem Minimum ab und dann bis zu seinem anfänglichen Werthe zu; es rührt dies daher, daß hier, wie früher angeführt worden ist, der schwächende Nebenstrom im vollen Zweige überall eine überwiegende Wirkung erhält. Es wurden 3 Flaschen der Batterie und des Condensators benutzt, der volle Zweig enthielt den Platindraht von 84,2 Lin. Länge 0,0405 rad.; in den Kupferdraht des unterbrochenen Zweiges wurden zunehmende Längen eines Platindrathes von 0,0286 Lin. Radius eingeschaltet.

Ohne Zweig. Mit demselben und

Platindraht (Fusse) 0 0,49 1,47 3,97 7,94

Strom im

Stamme 100.

84 73 77 80 88

Platindraht 15,9 23,8 39,7 79,4

Strom im Stamme 92 96 96 100

Bei Einschaltung von 79,4 Fuss Platindraht in den unterbrochenen Zweig erhielt der Strom im Stamme denselben Werth, den er vor Anlegung des Zweiges besessen hatte, und über den er durch Verlängerung des Drahtes nicht zu bringen war.

Der unterbrochene Bogen als Nebenbogen.

Von den auffallenden Aenderungen der Erwärmung in einem Schließungsbogen, an den ein unterbrochener Zweig angelegt worden, ist in dem Vorhergehenden die durch unsere bisherige Kenntniß der elektrischen Erscheinungen gebotene Erklärung gegeben worden, indem jene Aenderungen auf die vielfach geprüfte Rückwirkung eines Nebenstromes auf den Hauptstrom zurückgeführt worden sind. Aber diese Erklärung bleibt so lange unvollständig, als nicht gezeigt worden ist, daß die bekannte Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom, die bisher, bis auf Einen Fall, nur bei voller Nebenschließung geprüft

prüft wurde, in gleicher Weise stattfindet, wenn die Nebenschließung durch Condensatorflaschen unterbrochen ist. Durch diese Unterbrechung tritt zu dem Nebenstrom eine neue Elektrizitätsbewegung hinzu, die Entladung der durch jenen Strom geladenen Condensatorflaschen. Es bleibt zu zeigen, daß diese Entladung die Rückwirkung nicht stört, was nur dadurch geschehen kann, daß, wie ich oben überall angenommen habe, die Entladung der Condensatorflaschen von dem Nebenstrome gänzlich getrennt ist, die erste Partialentladung der Flaschen erst dann beginnt, wenn die letzte Partialentladung des Nebenstromes vollendet ist. Die Annahme, daß ein Hauptstrom, der in einem geraden Drahte fließt, in eben diesem Drahte einen Nebenstrom erregt, wird gerechtfertigt erscheinen, wenn gezeigt worden ist, daß dieser angenommene Nebenstrom auf den Hauptstrom dieselbe Wirkung ausgeübt hat, die unter gleichen Umständen der, in einem vom Hauptdrahte getrennten Drahte erregte, nachweisbare Nebenstrom auf den Hauptstrom ausübt.

Nebenstrom in einem unterbrochenen Drahte. Der Schließungsbogen der Batterie enthielt die constanten Messingstücke und die zur Verbindung der einzelnen Theile benutzten Kupferdrähte, außerdem einen 96,7 Lin. langen Platindraht von 0,0286 Lin. Radius und einen 13 Fuß langen, 0,55 Lin. dicken Kupferdraht, der auf einer Holzscheibe in eine ebene Spirale von 14 Windungen gelegt war (die kleine Inductionsscheibe). Der Nebenbogen bestand aus der zweiten Inductionsscheibe, die der ersten ihr gleichen in 1 Linie Entfernung gegenüber stand; das eine Drahtende der Scheibe war durch einen 29 Zoll langen Kupferdraht, den in der Kugel des Thermometers eingeschlossenen Platindraht (Länge 115 Lin.; rad. 0,0185 Lin.), und einen 67 Zoll langen, $\frac{1}{4}$ Linie dicken Kupferdraht mit dem Innern der Condensatorflaschen verbunden; von dem andern Ende der Scheibe führte ein 44 Zoll langer Kupferdraht zu der äußern Belegung dieser Flaschen. In dieser Anordnung war der Nebenbogen durch die Condensator-

flaschen unterbrochen; sollte er voll angewendet werden, so wurden die Drahtenden von den Belegungen der Condensatorflaschen gelöst und mit einander verbunden. In dem Folgenden sind die, für Einheit der Ladung aus 3 Beobachtungen abgeleiteten, Werthe der Erwärmung im Nebenbogen angegeben, also die Werthe von a in der Formel $\Theta = a \frac{q^2}{s}$, wo s die Anzahl der Batteriefaschen, q die zu ihrer Ladung gebrauchte Elektrizitätsmenge bezeichnet. Es wurden zuvörderst 4 Batteriefaschen benutzt.

Condensatorflaschen des

Nebenbogens

0 1 2 3 4 5

Erwärmung im Neben-
bogen

0,69 0,19 0,37 0,56 0,77 0,89

Die Erwärmung, die bei vollem Nebenbogen 0,69 beträgt, steigt bei dem durch 4 und 5 Flaschen unterbrochenen Bogen auf 0,77 und 0,89. Die Wirkung des Nebenstroms ist hier also im unterbrochenen Bogen stärker, als im vollen; aber darum ist es der Nebenstrom nicht. Bei metallisch geschlossenem Nebenbogen geht der Nebenstrom nur Einmal durch das Thermometer, bei unterbrochenem aber zweimal und zwar findet er bei dem zweiten Durchgange im Thermometer einen bereits erwärmten, also schlechter leitenden Draht, den er stärker erwärmt. Stärker, als er bei vollem Nebenbogen ist, kann der Nebenstrom im unterbrochenen Bogen nicht werden, aber er nimmt mit der Zahl der Condensatorflaschen unbedingt zu, so lange er nicht den Werth erreicht hat, den er bei voller Nebenschließung besaß. Das Gesetz dieser Zunahme ist nicht allgemein anzugeben, so einfach auch in den mitgetheilten Versuchen die Zunahme der doppelten Wirkung dieses Stroms erscheint. Man sieht nämlich, daß die Erwärmungen nahe im Verhältnisse der benutzten Zahl der Condensatorflaschen stehen. Daß diese Einfachheit der Zunahme nur in einem speciellen Falle stattfindet, der durch die zufällige Wahl der constanten Batterie und der Fläche einer Condensatorflasche eingetreten ist, zeigt sich, wenn man die

Versuche mit einer kleineren oder gröfseren Batterie wiederholt:

Zahl der Condensatorflaschen	1	2	3	4	5
Zahl der Batteriefaschen.	Erwärmung im Nebenbogen.				
2	0,42	0,76	1,01	1,04	1,04
3	0,25	0,50	0,78	0,94	0,99
5	0,14	0,29	0,50	0,69	0,77
7		0,20	0,35	0,46	0,62

Die Erwärmungen entfernen sich in jeder Reihe von dem Verhältnisse der benutzten Condensatorflaschen, am stärksten bei der aus 2 Flaschen bestehenden Batterie, wo die Erwärmung statt von 1 bis 5, von 1 bis 2,5, und bei der Batterie aus 7 Flaschen, wo die Erwärmung bis 6,2 steigt. Aus dieser Veränderlichkeit der Zunahme folgt die merkwürdige Eigenschaft des Nebenstroms im unterbrochenen Bogen, dafs dieser Strom abhängig ist von der Gröfse der benutzten Condensatorfläche im Verhältnisse zu der benutzten Batteriefäche. Diefs erscheint einfacher und deutlicher, wenn man die Erwärmungen vergleicht, die bei constanter Zahl der Condensatorflaschen beobachtet wurden. So hat man bei Anwendung von 3 Condensatorflaschen;

Zahl der Batteriefaschen	2	3	4	5	7
Erwärmung im Nebenbogen	1,01	0,78	0,56	0,50	0,35

(Da diese Werthe, wie alle früher mitgetheilten, für die Einheit der Ladung gelten, so ist die gesetzliche Abnahme der Erwärmung mit Vermehrung der Batteriefaschen aus ihnen eliminirt. Die beobachteten Erwärmungen nehmen schneller ab, als die hier berechneten, nämlich in den Verhältnissen $\frac{1,01}{2}$ zu $\frac{0,78}{3}$ zu $\frac{0,56}{4}$ u. s. w.)

Die Erwärmungen, die mit Vermehrung der Batteriefaschen bedeutend abnehmen, sind von zwei Strömen hervorgebracht: dem Nebenstrom, der in die Condensatorflaschen tritt, und dem Strom, mit dem diese Flaschen

entladen werden. Die Dichtigkeit des zweiten Stromes ist bei allen diesen Versuchen constant, weil die Condensatorflaschen ungeändert bleiben, und es kann die beobachtete Abnahme der Erwärmung nur von einer Abnahme des erregten Nebenstromes selbst herrühren. Bei voller Nebenschließung ist der Nebenstrom, so lange Haupt- und Nebebogen ungeändert bleiben, dem Hauptstrome proportional, so dafs, wenn der Hauptstrom in allen Versuchen für Einheit der Ladung berechnet wird, der Nebenstrom einen constanten Werth erhält. Dagegen hatte eine Aenderung des Hauptbogens auf den Nebenstrom nicht immer denselben Einfluß, den diese Aenderung auf den Hauptstrom äußert, so dafs also der Nebenstrom abhing von der Beschaffenheit der Nebenschließung im Verhältnisse zu der Hauptschließung. In dem unterbrochenen Nebebogen hängt der Nebenstrom noch ausserdem von der Gröfse der unterbrechenden Condensatorfläche im Verhältnisse zu der geladenen Batteriefläche ab, so dafs hierbei der ganze Schließungskreis, sowohl des Haupt- wie des Nebenstroms, in Betracht kommt. Es wird dies erklärlich durch die Wirkung der Partialentladungen des Nebenstromes auf die Partialentladungen des Hauptstromes, und durch eine Rückwirkung der letzteren auf den Nebenstrom. Bei den hierdurch sehr verwickelten Bedingungen, von welchen die Stärke des Nebenstromes im unterbrochenen Bogen abhängt, kann das Resultat der Versuche nur im Allgemeinen angegeben werden: Der Nebenstrom im unterbrochenen Bogen verändert sich in gleichem Sinne mit dem Verhältnisse der zur Unterbrechung benutzten Condensatorfläche zu der geladenen Fläche der Batterie.

Wirkung des unterbrochenen Nebenstroms auf den Hauptstrom. Die Wirkung des Nebenstroms in einem vollen Bogen auf den Hauptstrom besteht in einer Schwächung, die dieser Strom erfährt, und deren Gröfse durch die Beschaffenheit der Nebenschließung in Bezug zu der Hauptschließung bestimmt wird. Bleiben Haupt- und Ne-

benschließung ungeändert, so hängt die Schwächung des Hauptstromes von der Elektricitätsmenge ab, die im Nebenstrom in Bewegung gesetzt wird. Diese Elektricitätsmenge, auf die Einheit der Ladung der Batterie bezogen, konnte nur durch Aenderung des Theiles der Nebenschließung geändert werden, der von der Hauptschließung erregt wird, wodurch zugleich ein veränderlicher Theil der constanten Nebenschließung zur Wirkung auf die Hauptschließung gebracht wurde. In dem durch Condensatorflaschen unterbrochenen Nebenbogen ist dieser Versuch einfacher anzustellen. Man kann nämlich, wie wir gesehen haben, ohne den erregten Theil des Nebenbogens zu ändern, den Nebenstrom verstärken durch Vermehrung der eingeschalteten Condensatorflaschen, und mit dieser Vermehrung sieht man in der That den Hauptstrom immer schwächer werden. Es wurde der im vorigen Abschnitte gebrauchte Apparat angewendet. In der Hauptschließung befand sich ein 96,7 Lin. langer Platindraht (rad. 0,0286 Lin.) dessen Erwärmung hier beobachtet wurde, und die Kupferspirale der kleinen Inductionsscheibe; in der Nebenschließung stand die zweite Inductionsscheibe und ein Platindraht von 115 Lin. Länge, 0,0186 Lin. Radius. Der Hauptstrom wurde zuerst für die Einheit der Ladung bestimmt, ehe die Nebenspirale geschlossen war, dann mit unterbrochener Schließung und verschiedener Anzahl der Condensatorflaschen. Es wurden 3 Batteriefaschen gebraucht; der Hauptstrom ohne Nebenschließung hatte den Werth 0,43.

Nebenbogen mit Condensator-
flaschen

	1	2	3	4	5
Werth des Hauptstroms	0,37	0,29	0,22	0,16	0,15

Der Hauptstrom ist dadurch, daß ein Nebenstrom in einem unterbrochenen Nebenbogen auf ihn wirkte, von 0,43 bis 0,15 (im Verhältnisse 100 : 35) geschwächt worden, und zwar nahm die Schwächung mit der Zahl der Condensatorflaschen zu. Mit dieser Vermehrung der Flaschen ist, wie oben gezeigt wurde, der Nebenstrom verstärkt worden; die Entladung der Condensatorflaschen müßte, ihrer ent-

gegegengesetzten Richtung wegen, die Wirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom aufheben; da sie aber erst nach der Entladung der Batterie eintritt, so findet sie im Hauptdrahte keinen Strom vor, und kann keinen Einfluss auf den Hauptstrom gewinnen. Wirkt demnach von den beiden vorhandenen Strömen allein der unmittelbar erregte Nebenstrom, so muß durch ihn dieselbe Schwächung des Hauptstromes erreicht werden können, die der im vollen Bogen erregte Nebenstrom hervorbringt. Nicht allein, daß dies ausgeführt werden kann, so kann man sogar den Hauptstrom durch den unterbrochenen Bogen in höherem Maasse schwächen, als es vor der Unterbrechung geschah. Als in der mitgetheilten Versuchsreihe der Nebenbogen metallisch geschlossen wurde, durch Verbindung der an den Belegungen der Condensatorflaschen anliegenden Drahtenden, erhielt ich für den Hauptstrom den Werth 0,25, während er bei Unterbrechung des Bogens durch 5 Condensatorflaschen auf 0,15 hinabgedrückt worden war. Um die Folgerung aus diesem Versuche einzusehen, hat man sich zu erinnern, daß die Wirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom an die Bedingung geknüpft ist, daß der von jeder Partialentladung der Batterie erregte Nebenstrom bei dem Eintritte der folgenden Partialentladung noch fortbesteht. Verschwindet der Nebenstrom zu schnell, um diese Bedingung zu erfüllen, so ist die Stärke des Nebenstroms gleichgültig in Bezug auf seine Wirkung auf den Hauptstrom. Es wurde deshalb, wenn der vollkommen geschlossene Nebenbogen zu gut leitete, in denselben ein schlechtleitender Draht eingeschaltet, der Gang des Nebenstromes verzögert, und dadurch die beabsichtigte Wirkung auf den Hauptstrom hervorgebracht. Ebenso wird aber, wie man aus dem letzten Versuche schliessen muß, der Nebenstrom verzögert durch Einschaltung von Condensatorflaschen in seine Schließung, so daß von zwei, nach Elektricitätsmenge und Dichtigkeit, gleichen Nebenströmen, der Strom im unterbrochenen Bogen auf den Hauptstrom eine stärkere Wirkung äußert, als der im vollen Bogen, weil der erste in

seinem Gange verzögert ist. Diese Verzögerung durch Einschaltung von Condensatorflaschen in den Bogen läßt sich sehr auffällig nachweisen. Es wurde aus dem in diesem Abschnitte gebrauchten Nebenbogen der dünne Platindraht entfernt, so daß der Nebenbogen nur Kupferdraht enthielt. Bei Anwendung von 3 Batteriefaschen wurden folgende Werthe des Hauptstroms erhalten.

	Ohne Neben- schliessung.	Mit voller Nebenschl.	Mit unterbrochener u. Condensatorfl.	1	3	5
Hauptstrom	0,43	0,42		0,40	0,38	0,36

Der Nebenstrom im vollen Nebenbogen hatte keinen merklichen Einfluß auf den Hauptstrom, aber schon bei Einschaltung von 1 Condensatorflasche wird der Einfluß deutlich, der nur durch Verzögerung des Nebenstroms hervorgebracht seyn konnte, da die Elektrizitätsmenge desselben unbezweifelst kleiner war, als die im vollen Bogen. Der Einfluß steigt bei 3 und 5 Condensatorflaschen durch Vergrößerung der Elektrizitätsmenge des Nebenstromes. Die größte Schwächung des Hauptstroms findet hier im Verhältnisse 100 zu 84 statt, während sie früher, als der Platindraht sich in der Nebenschließung befand, 100 zu 35 betrug; ein Beweis, daß hier, wie im vollen Bogen, die Beschaffenheit der Drahtleitung des Nebenstromes zum größten Theile die Wirkung dieses Stromes auf den Hauptstrom bestimmt. Das Resultat der angestellten Versuche läßt sich so aussprechen: Der Hauptstrom der Batterie wird durch einen, von ihm in einem unterbrochenen Nebenbogen erregten, Nebenstrom geschwächt. Der kleinste Werth, den der Hauptstrom in dieser Weise erlangen kann, wird bei constanter Hauptschließung durch den Verzögerungswerth des Nebenbogens bestimmt und durch die Gröfse der Batterie und des Condensators. Der Hauptstrom, für die Einheit der Ladung berechnet, verändert sich im gleichen Sinne mit dem Verhältnisse der angewandten

Batteriefläche zu der, in den Nebenzweigen eingeschalteten, Condensatorfläche.

Nach dem letzten Satze nimmt der Hauptstrom ab, wenn bei constanter Batterie die Zahl der Condensatorflaschen vermehrt wird, und er nimmt zu, wenn man bei constanter Zahl der Condensatorflaschen mehr und mehr Batterieflaschen anwendet. In so einfacher Weise läßt sich aber der Satz nur aussprechen, wenn man den Hauptstrom stets bei der (willkürlich gewählten) Einheit der Ladung beobachtet, oder ihn darauf reducirt.

Bei Aenderung der Batterieflaschen kann der Strom nicht bei Einheit der Ladung beobachtet werden, da man zwar die Elektrizitätsmenge, nicht aber zugleich die Dichtigkeit in der Batterie constant erhalten kann. Mißt man den Hauptstrom ohne vorhandenen Nebenstrom bei zunehmender Zahl der Batterieflaschen, so findet man ihn bekanntlich abnehmend im umgekehrten Verhältnisse der Flaschen. Der Nebenstrom im unterbrochenen Bogen schwächt den Hauptstrom desto weniger, je mehr Batterieflaschen man anwendet, man wird also bei vorhandenem Nebenstrom den Hauptstrom im geringeren Verhältnisse abnehmen sehen, als in dem die Batterieflaschen zunehmen. Da die GröÙe der Schwächung bei Vermehrung der Batterieflaschen verschieden ist nach der Beschaffenheit der Haupt- und Nebenschließung und der GröÙe der eingeschalteten Condensatorfläche, so kann man es durch die Einrichtung des Apparats dahin bringen, daß die beobachteten Hauptströme bei einer beschränkten Versuchsreihe merklich constant bleiben. Es wurde die in diesem Abschnitte zu Anfange benutzte Haupt- und Nebenschließung angewendet, und die letztere durch 4 Condensatorflaschen unterbrochen. Als ich die Batterie stets mit derselben Elektrizitätsmenge lud, erhielt ich am Thermometer in der Hauptschließung die folgenden Erwärmungen:

Zahl d. Batterieflaschen	2	3	4	5	6	7
Beob. Erwärmung						
d. Hauptschließung	11	10,2	10	10,8	10,6	10

Hier hat also eine bestimmte Elektricitätsmenge in einem Drahte, der die Batterie entlad, nahe dieselbe Erwärmung hervorgebracht, jene Menge mochte auf 2 bis 7 Batteriefaschen angehäuft gewesen seyn. Diefs Resultat eines speciellen Versuchs, obgleich in Nichts auffallender, als die früheren Resultate, aus welchen es unmittelbar folgt, ist in einer Beziehung interessant. Als ich vor langer Zeit die elektrische Erwärmung zum Gegenstande der Untersuchung nahm, galt der Satz, dafs die Wirkung der bewegten Elektricität unabhängig sey von der Dichtigkeit, welche die Elektricität vor der Bewegung besessen hatte, dafs namentlich eine bestimmte Elektricitätsmenge bei ihrer Entladung einen Draht um gleichviel erwärme, wie grofs auch die Fläche gewesen, auf der sie angehäuft war. Es wurde mir leicht, diese Annahme als falsch und die Abhängigkeit der Erwärmung von der elektrischen Dichtigkeit aufzuzeigen, aber es kam in der grofsen Menge meiner vielfach abgeänderten Versuche kein Fall vor, der mit jener falschen Annahme auch nur im Entferntesten überein gestimmt hätte. Hier ist ein solcher Fall und damit eins jener Beispiele gegeben, welche in der Elektricitätslehre häufiger sind, als in anderen Disciplinen, dafs ein scheinbar einfacher Versuch höchst verwickelt, und das einfache Ergebnifs desselben durch das Zusammenwirken der verschiedensten Ursachen herbeigeführt seyn kann.

Es ist, zum grofsen Nachtheile der Elektricitätslehre, sehr leicht, elektrische Versuche, und sehr schwer, einfache elektrische Versuche anzustellen.

III. Ueber Pseudomorphosen, nebst Beiträgen zur Charakteristik einiger Arten derselben; von Th. Scheerer.

(Fortsetzung.)

I. Paramorphosen.

(Fortsetzung)

Nach einer kleinen Abschweifung ins Gebiet der gewöhnlichen Pseudomorphosen — hauptsächlich das Auftreten von *Kaolin nach Prosopit* betreffend (Diese Annalen Bd. 90, S. 315) — kehren wir zu den Paramorphosen zurück. Ehe wir jedoch zur Betrachtung neuer Arten derselben übergehen, möge hier noch folgendes Nachträgliche einen Platz finden.

Zuvörderst habe ich eines Vorschlages meines hochverehrten Freundes Haidinger ¹⁾ in Bezug auf die *Nomenclatur der Paramorphosen* zu gedenken. Jeder paramorphe Krystall zeigt uns die beiden Formen eines dimorphen Körpers zugleich: die eine in seinen Contouren, die andere in der morphologischen Beschaffenheit seines Innern. *Ursprünglich*, als der chemische Stoff desselben Gestalt annahm, trug er diese Ambiguität (die Folge einer späteren Einwirkung) *nicht* an sich, sondern seine damalige — später veränderte — innere Gestalt entsprach seiner unverändert gebliebenen äußeren. Eine derartige *ursprüngliche*, *äußerlich* und *innerlich* homologe Krystallgestalt stellt sich uns — wenn wir hierbei ausschließlich *Mineralien* vor Augen haben — in den meisten Fällen als eine *nicht mehr vorhandene Species* dar, und erinnert gewissermaßen an die ausgestorbenen Species der Paläonthologie. Haidinger schlägt daher vor, diese verschwundenen, vorzeitlichen Mineral-species durch Vorsetzung des Wortes „*Paläo*“ zu be-

1) Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der Kais. Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1853, Bd. XI, S. 397.

zeichnen. Der Natrolith zum Beispiel, welcher (als sogenannter Spreustein, wie ich in einem vorhergehenden Abschnitte ¹⁾ darthat) äußerlich eine monoklinoëdrische Form besitzt, innerlich aber aus einem Aggregate gewöhnlicher rhombischer Natrolith-Individuen besteht, war *ursprünglich*: »*Paläo-Natrolith*«. Als letzterer, mit monoklinoëdrischer äußerer und innerer Gestalt, scheint derselbe gegenwärtig nicht mehr gefunden zu werden; sondern er stellt sich uns nur noch als eine *Paramorphose von Natrolith nach Paläo-Natrolith* dar. Auf gleiche Weise können wir die anderen, in dem citirten Abschnitte motivirten Paramorphosen bezeichnen durch: *Albit nach Paläo-Albit* (in äußerer Skapolithform), *Oligoklas-Albit nach Paläo-Oligoklas-Albit* (in derselben Form) und *Amphibol nach Paläo-Amphibol* (in Augitform). Wie ich bereits brieflich gegen Haidinger geäußert habe, nehme ich diesen Vorschlag, welcher eine ebenso passende als bequeme Aushilfe in der Nomenclatur jener eigenthümlichen Mineralgebilde gewährt, sehr bereitwillig und dankbar an.

An diese Bemerkungen erlaube ich mir noch ein Paar Worte über eine vielleicht zweckmäßige *Eintheilung der Paramorphosen* zu knüpfen. Schon früher habe ich darauf aufmerksam gemacht, daß der Uralit (Amphibol nach Paläo-Amphibol) eine Paramorphose ganz eigener Art sey, indem die Hornblend-Individuen, welche äußerlich die Augitform an sich tragen, mit ihren Hauptaxen *parallel* der Hauptaxe dieser letzteren Form liegen, während bei anderen Paramorphosen kein solcher Parallelismus, ja nicht einmal irgend eine regelmäßige Anordnung der constituirenden (Mikro-) Krystall-Individuen stattfindet. Es lassen sich daher *homoaxe* und *heteroaxe Paramorphosen* unterscheiden. Zu den ersteren gehört von den uns bis jetzt bekannt gewordenen Vorkommnissen bloß der Uralit, zu den letzteren müssen wir die übrigen derselben zählen. Doch scheint der paramorphe Amphibol nicht ausschließ-

1) Diese Annalen Bd. 89, S. 26.

lich in der eigenthümlichen, homoaxen Art des Uralit, sondern auch als heteroaxe Paramorphose aufzutreten ¹⁾.

In Bezug auf den *Uralit*, d. h. der Paramorphose von *Amphibol* nach *Paläo-Amphibol*, ist folgendes Nachträgliche zu bemerken. Im vergangenen Sommer hatte ich Gelegenheit in den ausgezeichneten Mineraliensammlungen v. Leonhard's und Blum's zu Heidelberg, und Wiser's in Zürich, höchst instructive Exemplare einiger Pseudomorphosen zu sehen, welche Blum in seinem Werke dem Uralit an die Seite stellt. Es sind diefs: 1) Asbestartiger und dünnstrahliger Strahlstein von Traversella, in der Form von Augit (Malakolith, Salit), 2) Asbestartiger und dünnstrahliger Grammatit von Orange-County, New-York, in der Form von Augit (Diopsid), 3) Asbest aus dem Brozzothale, Piemont, in der Form von Augit (Malakolith, Salit). Von letzterem enthielt besonders die Wiser'sche Sammlung sehr schöne Exemplare. Zu den Vorkommnissen dieser Art dürfte ferner 4) ein Mineral zu zählen seyn, welches mein College Bergrath Breithaupt vor Kurzem aus Petersburg, unter dem Namen *Pitkarandit* (nach dem Fundorte Pitkaranda in Finnland benannt), zugesendet erhielt. Es bildet Krystalle von Augit- (Salit-) Form, die einfache Combination $\infty P \infty$. ($\infty P \infty$). $P \infty$ ²⁾ darstellend. Diese Krystalle sind nur nach einer, und zwar der orthodiagonalen Richtung deutlich spaltbar; nach dieser aber sehr vollkommen. Allein auf den Spaltungsflächen gewahrt man, besonders durch die Loupe, eine Nebeneinander-Reihung dünnstrahliger Individuen, deren Längensachsen sämmtlich — ganz wie diefs auch bei den zuerst angeführten drei Vorkommnissen dieser Art der Fall ist — parallel der Hauptaxe des Gesamt-Krystalls laufen. Dadurch entsteht der eigenthümliche Seidenglanz dieses Minerals auf Spaltungsflächen. Spaltungslamellen desselben lassen sich durch mechanische Gewalt ziemlich leicht in jene faserförmigen (asbestartigen) Zusammenset-

1) L. c. S. 14.

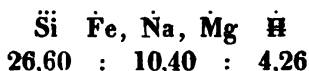
2) Ob $P \infty$ oder OP läßt sich natürlich nicht mit Sicherheit entscheiden.

zungs-Elemente theilen. Von welcher morphologischen Beschaffenheit letztere, für sich betrachtet, sind, liefs sich bei ihrem geringen Durchmesser nicht ermitteln, doch erinnert das Aeufsere ihres Complexes entschieden an eine lauchgrüne Hornblende. Eine chemische Analyse bestätigte dies; der Pitkarandit hat die Zusammensetzung eines Amphibols ¹⁾. In allen diesen vier Fällen erblicken wir also eine *äufsere augitische Form* mit einem *inneren homoaxen Aggregate strahliger Individuen eines amphibolitischen Minerals*. Es gehören daher diese Vorkommnisse zu den *homoaxen Paramorphosen von Amphibol nach Paläo-Amphibol*, jedoch nicht, wie der Uralit, zu der *massiv-krystallinischen*, sondern zu der (*faserig-*) *strahlig-krystallinischen Varietät* derselben. Dafs der Paläo-Amphibol in *beiden*, erheblich von einander verschiedenen Varietäten auftritt, dafs seine ursprünglichen Krystalle sich mitunter zu der einen, mitunter zu der anderen paramorphen Varietät verändert haben, ist keinesweges ein blosses Spiel des Zufalls, sondern diese Thatsache beruht auf einem Grunde, den wir in einem der nächstfolgenden Abschnitte in nähere Betrachtung ziehen werden.

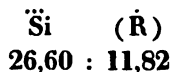
Das Vorkommen von Krystallen: welche als Complexe parallel an einander gereihter dünnstrahliger bis faseriger Individuen erscheinen, ist im Mineralreiche nicht bloss auf die eben angeführten Fälle beschränkt. In meiner Sammlung befindet sich ein Krystallbruchstück des (sogenannten) Bronzit von Kupferberg in Bayern, welches äufserlich und innerlich die nämliche morphologische Beschaffenheit an sich trägt, die wir an den Pitkarandit-Krystallen fanden; nur ist die auf Spaltungsflächen wahrnehmbare parallel-faserige Zusammensetzung noch etwas feinerer Art. Ein eben solches inneres Gefüge besitzen ferner: Phästin (Breithaupt's) von Kupferberg; ein

1) Das Resultat dieser Analyse wird bei einer späteren Gelegenheit mitgetheilt werden. Der Pitkarandit ist nicht zu verwechseln mit dem von Hefs analysirten »Asbest von Pitkaranda.« Beide Mineralien sind durchaus verschieden.

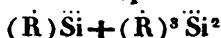
bronzitartiges Mineral von Waldheim in Sachsen; ein desgleichen von Kraubat in Steiermark; ein diallagartiges Mineral von Reichenstein in Schlesien; ein tremolitartiges Mineral von ebendaher, sowie zum Theil auch Krokydolith, gewisse Anthophyllite u. s. w. Indem wir aber diese Mineralien als paramorphe Gebilde in Anspruch nehmen, wollen wir dieselben dadurch keinesweges alle für Paramorphosen von *Amphibol nach Paläo-Amphibol* erklären. Um hierüber zu entscheiden, müßte uns ihre chemische Zusammensetzung und — wenn wir auf die nähere Kenntniss ihrer inneren Form zu verzichten genöthigt seyn sollten — wenigstens ihre äussere Form bekannt seyn. Solche Daten stehen uns in Betreff der gedachten Mineralien vor der Hand nur allenfalls vom Krokydolith zu Gebote. Dieses Mineral hat eine chemische Zusammensetzung, welche nach zwei Analysen von Stromeyer einer mittleren Sauerstoff-Proportion entspricht von:



welche nach Principien des polymeren Isomorphismus umgeformt werden kann zu



und mit der grössten Schärfe zur Proportion $\ddot{\text{Si}} : \ddot{\text{R}} = 9 : 4$ ($= 26,60 : 11,82$) also zur Amphibol-Formel



führt. Von der äusseren Krystallform des Krokydolith ist uns zwar insofern nichts bekannt, als man dieses Mineral bisher niemals in deutlichen Krystallen angetroffen hat, allein aus den folgenden Daten läßt sich wenigstens mit einiger Wahrscheinlichkeit ein Schluß auf dieselbe thun. Der Krokydolith von Fredriksvärn in Norwegen kommt, wie bereits Hausmann gezeigt hat, in inniger Verwachsung mit Hornblende (Arfvedsonit) vor; und zwar in der Art, daß Spaltungsgestalten der letzteren vollkommene Uebergänge in den Krokydolith bilden. Ferner läßt

sich an einem, in meinem Besitze befindlichen Stück Krokydolith vom Cap der guten Hoffnung beobachten, daß dieses Mineral an einer Stelle — an welcher es so compact erscheint, daß es Glasglanz besitzt — äußerlich den Amphibol-Winkel von etwa 124° zeigt. Die Richtung der integrierenden faserförmigen Individuen ist parallel der Hauptaxe. Hiernach hat es den Anschein, daß die äussere Gestalt des Krokydolith, der chemischen Constitution desselben vollkommen entsprechend, die Amphibol-Form sey. Von welcher morphologischen Beschaffenheit aber jene äußerst zarten, faserförmigen Zusammensetzungs-Elemente seyn mögen, dürfte sich nicht leicht ermitteln lassen. Nur soviel erscheint sicher, daß sie *nicht die Amphibol-Form* an sich tragen. Da nun bereits so manche Thatsachen für die Dimorphie der Amphibol Substanz (in Amphibol- und Augit-Form) sprechen, so ist es wohl nicht allzu gewagt, jenen faserförmigen Individuen die krystallinische Textur des *Augit* beizumessen. Die Paramorphose von *Krokydolith nach Paläo-Krokydolith* würde solchenfalls ein Beispiel von einem in äußerer *Amphibol-Form* auftretenden (Paläo-) Amphibol geben, welcher gegenwärtig aus einem homoaxen Aggregate von *augitförmigen Individuen der Amphibol-Substanz* besteht; während der Uralit und verwandte Gebilde äußerlich in *Augit-Form* auftreten, innerlich aber aus *amphibolförmigen Individuen der Amphibol-Substanz* bestehen. Mit anderen Worten: die Amphibol-Substanz $R\ddot{S}i + R^3\ddot{S}i^2$ scheint zwei Reihen von Paramorphosen zu bilden, deren besondere Beschaffenheit durch den Uralit und den Krokydolith repräsentirt wird; im Uralit tritt die Amphibol-Substanz mit äußerer Augit- und innerer Amphibol-Form, im Krokydolith mit äußerer Amphibol- und — wahrscheinlich — innerer Augit-Form auf. Die Dimorphie der Amphibol-Substanz macht dies möglich und erklärbar.

Daß die Augit-Substanz derselben Dimorphie fähig sey, wie die Amphibol-Substanz, dafür scheinen einige bereits

früher angeführte Beispiele ¹⁾ zu sprechen. Ein neues Beispiel dieser Art kann hier hinzugefügt werden. Schon vor längerer Zeit untersuchte ich ein Mineral aus den bekannten Magneteisensteingruben zu Presnitz in Böhmen, welches ich damals unter dem Namen eines »Talk-Diallag« auführte ²⁾. Seine Zusammensetzung fand ich in zwei Analysen wie folgt.

Kieselerde	58,46	58,60
Thonerde	0,09	0,06
Talkerde	32,83	32,07
Kalkerde	0,61	0,81
Eisenoxydul	1,09	1,01
Manganoxydul		0,39
Wasser	6,56	6,56
	<hr/> 99,64	<hr/> 99,50

Hieraus ergibt sich die Sauerstoff-Proportion

$$\begin{array}{c} \text{Si} \quad (\text{R}) \\ 30,41 : 15,40 \end{array}$$

also der *Augit*-Formel $(\text{R})^3 \text{Si}^2$ entsprechend. Ueber die Krystallform dieses Minerals war mir früher weiter nichts bekannt, als dafs es, gleich einem gewöhnlichen Diallag, nach einer Richtung sehr vollkommen, nach einer zweiten darauf senkrechten weniger vollkommen spaltbar sey. Beim Zerschlagen einer Partie Magneteisenstein, mit welcher dieses Mineral verwachsen war, kam ein Krystall desselben zum Vorschein, den es ziemlich gut zu isoliren gelang. Er misst etwa $\frac{1}{4}$ Zoll in der Länge, ebensoviel in der Breite und $\frac{1}{6}$ Zoll in der Dicke. Seine Form ist entschieden die eines *Amphibol* von der Combination $\infty P. \infty P \infty. (\infty P \infty)$. Die Endzuspitzung liefs sich wegen Beschädigung und unvollkommener Ausbildung nicht näher bestimmen. Das orthodiagonale Flächenpaar, parallel welchem jene vollkommenste Spaltungsrichtung liegt, tritt in vorzugsweiser

Ent-

1) Diese Ann. Bd. 89, S. 12 — 14.

2) Ebend. Bd. 84, S. 49.

Entwicklung auf, während man das klinodiagonale Flächenpaar an den spitzen Seitenkanten (56°) des Haupt-Prismas nur unter der Loupe scharf und deutlich gewahrt. Parallel letzterem Flächenpaare liegt die weniger vollkommene Spaltungsrichtung. Nach einigen Spaltungsstücken will es fast scheinen, als wenn auch noch eine prismatische Spaltungsrichtung vorhanden sey, worüber ich jedoch nicht zu entscheiden wage. Jedenfalls haben wir hier einen Augit in der Form der Hornblende, und die gedachte Dimorphie der Augit-Substanz drängt sich uns dadurch mit verstärkter Kraft als Thatsache auf. Aus der Existenz dieser Dimorphie ergiebt sich die Möglichkeit: daß auch die Augit-Substanz, ganz analog, wie die Amphibol-Substanz, Paramorphosen bilden könne, sowohl mit äußerer Amphibol- und innerer Augit-Form, als mit äußerer Augit- und innerer „Amphibol-Form.“ Vielleicht gehören einige der oben angeführten, einstweilen noch zweifelhaften Paramorphosen, wie gewisse Bronzite und Diabase, Phästin u. s. w., hierher. Um dies auszumachen ist aber — außer der chemischen Constitution — die bei derartigen Mineralien leider gewöhnlich so selten zu erlangende Kenntniß der äußeren Krystallform unerläßlich.

Nachträglich des im ersten Theile meiner Abhandlung beschriebenen *Spreusteins*, d. h. der Paramorphose von *Natrolith nach Paläo-Natrolith*, habe ich anzuführen, daß es mir gelungen ist, einige genauere krystallometrische Bestimmungen an diesem Mineral zu machen. Durch Hrn. Zschau in Dresden, welcher Norwegen im vergangenen Sommer besuchte, erhielt ich einige Exemplare von Spreusteinkrystallen, unter denen besonders zwei sehr instructiv sind. Das eine Exemplar — ein in Zirkonsyenit eingewachsenen Krystallbruchstück von $1\frac{1}{8}$ Z. Länge, $\frac{1}{2}$ Z. Breite und $\frac{1}{8}$ Z. Dicke — zeigt auf einer seiner schmalen Längsseiten zwei vollkommen glatte und ebene Flächen $\propto P$ nebst der zwischenliegenden scharf ausgebildeten Längskante. Jedoch liefs sich, wegen Hervorragung benachbarter Feldspaththeile, deren Fortschaffung nicht ohne erhebliche Ge-

fahr für den Krystall zu bewerkstelligen gewesen wäre, das Goniometer nicht direct appliciren. Ich drückte deshalb den Krystall in Siegellack ab, und benutzte den Abdruck zu Gypsabgüssen. Wenn auch durch diese Uebertragung der Gestalt etwas von ihrer ursprünglichen Schärfe verloren gegangen seyn mag, so zeigte doch die goniometrische Messung am Gypsabguß, daß der Winkel von ∞P , ganz übereinstimmend mit meiner früheren Messung, näher an 126° als an 125° liege, jedenfalls also nicht unter 125° sey. Dasselbe Resultat ergab sich an einem etwa $1\frac{1}{2}$ Z. langen, $\frac{3}{4}$ Z. breiten und ebenso dicken Krystallbruchstücke, welches aber noch dadurch ein besonderes Interesse gewährte, daß an ihm die eine der Zuspitzungsflächen mit vollkommenster Deutlichkeit zu beobachten war; nämlich die auf die stumpfe Kante des Prismas ∞P (von 126°) gerade aufgesetzte Endfläche, entsprechend der Amphibol-Fläche oP . Die Neigung dieser Fläche gegen jene stumpfe Kante fand ich $= 130^\circ$, während meine früheren approximativen Messungen an einem anderen Krystall ¹⁾ Werthe von 129° bis 132° ergaben. Eine Vergleichung der Form des Paläo-Natrolith mit der Amphibol-Gestalt führt also, nach den bis jetzt vorliegenden Daten, hauptsächlich zu Folgendem:

	Paläo-Natrolith.	Amphibol.
∞P	126°	$124\frac{1}{2}^\circ$
$\infty P : (\infty P \infty)$	117°	$117\frac{3}{4}^\circ$
Neigungswinkel α der Klinodiagonale zur Hauptaxe (Complement vom Winkel zwischen oP und der Kante von ∞P)	50°	$75\frac{1}{10}^\circ$.

Hierzu kommt noch das Auftreten einer vorderen Hemipyramide ²⁾ von annähernd 136° , entsprechend der Amphibol-Pyramide P von $148\frac{1}{2}^\circ$. Aus diesen Daten ergibt sich die Krystallform des Paläo-Natrolith als eine durchaus *eigenthümliche, keinem anderen bekannten Minerale zugehörige*.

1) Diese Ann. Bd. 89, S. 36.

2) L. c.

Gestalt, gleichwohl aber durch die Symmetrie ihrer Flächen an Amphibol erinnernd. Eine genauere Angabe über das Gröfsen-Verhältniß ihrer Axen läßt sich erst machen, wenn es gelingt, jene Hemi-Pyramide in schärferer Ausbildung ihrer Flächen anzutreffen.

Nach diesen nachträglichen Bemerkungen gehen wir zur Betrachtung anderer Paramorphosen über. Doch schon im Voraus muß ich für den wahrscheinlichen Fall um Entschuldigung bitten, daß auch später solche Nachträge unvermeidlich seyn dürften. Obgleich die hier veröffentlichten Thatsachen und Ansichten das Product mehrjähriger Beobachtungen und Studien sind, blieb doch manches darin lückenhaft und schwankend, und jeder Tag kann neue Thatsachen bringen, durch welche eine Lücke ausgefüllt und das Schwankende entweder unterstützt oder umgeworfen wird. Unter solchen Umständen, wie überhaupt bei jeder eingeschlagenen neuen Richtung, läßt sich das vorhandene Material am besten in die Form einer Abhandlung bringen; die unzweckmäßigste Form würde die eines »Lehrbuches« seyn.

D. Epidot nach Palão-Epidot.

Die ehemalige Existenz eines Palão-Epidot vermag ich einstweilen nur durch einen einzigen Krystall nachzuweisen, den ich bereits im Jahre 1842 auf einer der Halden der Näskil-Gruben bei Arendal fand. Gewisse äussere Eigenschaften desselben erinnerten mich schon damals an jenen licht gelblich grünen, körnig-krystallinischen Epidot (Thal-lit), welcher so häufig in dem eisenreichen Gneus-Gebiete der Arendaler Gegend angetroffen wird ¹⁾; seine äussere Gestalt aber schien dieser Diagnose durchaus zu widersprechen. Er ist auf ziemlich feinkörnigem Syenit-Gneus, in welchem Epidotpartien der nämlichen Art als accessori-scher Gemengtheil vorkommen, aufgewachsen, und zwar auf einer Gränzfläche dieses Gesteins gegen grobkörnig

1) Geognostisch-mineralog. Skizzen, gesammelt auf einer Reise an der Südküste Norwegens. v. Leonh. und Bronn's Jahrbuch 1843, S. 648.

krystallinen Marmor. Es gehört daher dieses Vorkommen einer der überaus zahlreichen Arendaler Marmor-Nieren an ¹⁾, welche schon so viel interessantes Material in die Mineralien-Cabinete geliefert haben. Nach der durch verdünnte Salzsäure bewirkten Fortschaffung der Marmor-Reste an dem gedachten Stücke, zeigte sich jene Gränzfläche mit Krystallen derselben Mineralien bedeckt, welche die Gemengtheile des Syenit-Gneuses bildeten: mit Krystallen von grünlich schwarzer Hornblende, weißem Feldspath und dem problematischen Epidot. Augenscheinlich hatte also hier, wie in so vielen anderen Fällen, der kohlensaure Kalk als eine der Krystallbildung günstige Matrix gedient, und Mineralien — welche im Innern ihres eigenen Gemenges nur eine unvollkommene morphologische Entwicklung fanden — zur Annahme einer individualisirten Form verholfen. Aufser einem größeren Epidotkrystall (ungefähr $\frac{3}{8}$ Zoll lang, $\frac{3}{4}$ Z. breit und $\frac{1}{2}$ Z. dick) zeigten sich noch einige kleinere, theilweise aber beschädigte und weniger vollkommen ausgebildete Krystalle derselben Art, welche größtentheils zu der folgenden, von meinem Assistenten Hrn. Rob. Richter ausgeführten Analyse verwendet wurden. Zuzufolge dieser Analyse ist die Zusammensetzung des fraglichen Minerals:

		Sauerstoff.
Kieselerde	38,84	20,17
Thonerde	25,45	11,89
Eisenoxyd	10,88	3,26
Kalkerde	22,62	6,46
Wasser	2,41	2,14
	<u>100,20.</u>	

Dies stimmt, wie weiter unten gezeigt werden soll, so genau mit der Zusammensetzung anderer Epidote überein, daß an der wirklichen Epidot-Natur dieses Minerals nicht zu zweifeln ist.

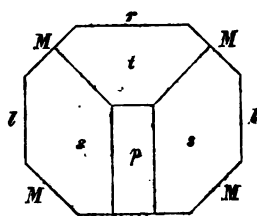
Daß wir es aber in diesen Epidotkrystallen mit einer

1) Einige Bemerkungen über gewisse Kalksteine der Gneus- und Schieferformation Norwegens. Zeitschrift d. deutschen geol. Ges. 1851, S. 43.

Paramorphose zu thun haben, zeigt sich sowohl durch ihre *Structur* als durch ihre *Krystallform*.

Ihre *innere Structur* ist jene krystallinisch körnige (marmorartige), wie wir dieselbe bereits bei den Paramorphosen von Albit, Oligoklas-Albit und Spreustein kennen lernten. In einigen der zerbrochenen Krystalle konnten grössere krystallinische Partien wahrgenommen werden, welche vollkommen die Spaltungsrichtungen des normalen Epidot besaßen; allein diese Richtungen standen zur äusseren Krystallgestalt weder in einer regelrechten noch festen Beziehung. Als Folge dieser inneren Structur besitzen die äusseren Krystallflächen unseres Epidot jenen eigenthümlichen Schimmer (mitunter an *Moirée métallique* erinnernd), welcher für gewisse Paramorphosen so charakteristisch ist. Bei starker Vergrößerung liess sich beobachten, dass an einigen Stellen der Krystallflächen scharfe Ecken und Kanten hervorragten, welche der normalen Epidotform anzugehören schienen, und die Ausläufer der im Innern des Krystalls marmorartig mit einander verwachsenen Individuen bildeten. Nirgends wurden Drusenräume oder Höhlungen angetroffen, und die krystallinisch körnige Masse der Krystalle war durchgehends von vollkommener Frische. Dieselbe Beschaffenheit zeigten die oben erwähnten mitten im Syenit-Gneus vorkommenden Epidotpartien.

Was die *äussere Krystallform* anbelangt, in welcher uns hier der Epidot entgegentritt, so ist dieselbe eine durch Flächensymmetrie und theilweise auch durch parametrische Verhältnisse der Augitform nahestehende. Dass sie jedoch mit dieser nicht als identisch zu betrachten ist, werden



folgende, auf nebenstehender Horizontal-Projection der betreffenden Krystallgestalt bezogene Winkelangaben darthun. Zur bequemeren Vergleichung habe ich die entsprechenden Augitwinkel daneben gesetzt.

	Paläo-Epidot.	Augit.
$\infty P (= M : M)$	$= 87^\circ$	$87^\circ 6'$
$\circ P : \infty P \infty (= t : r)$	$= 99\frac{1}{2}^\circ$	$105^\circ 59'$
$P \infty : \infty P \infty (= p : r)$	$= 115^\circ$	$105^\circ 29'$

Die Winkel $M : M$ und $t : r$ ließen sich am genauesten bestimmen; weniger scharf, doch jedenfalls annähernd, ist der Winkel $p : r$. Alle Messungen von $t : r$ ergaben unter 100° ; die geringsten Messungswerthe dieses Winkels lagen etwa bei $98\frac{1}{2}^\circ$. Die sehr beträchtlichen Winkelunterschiede von $6\frac{1}{2}^\circ$ ($t : r$) und fast 10° ($p : r$) weisen wohl jeden Identifications-Versuch von der Hand. Die Neigung von s liefs sich durch Messung nicht genau ermitteln, allein die Beziehungen dieser Flächen zur Gesamt-Gestalt ergeben sich aus dem in der Figur angedeuteten Kanten-Parallelismus. Die vollständige Combination des Paläo-Epidotkrystalls ist:

$$\infty P . \infty P \infty . (\infty P \infty) . P . \circ P . P \infty$$

Neigungswinkel α der Klinodiagonale zur Hauptaxe $= 99\frac{1}{2}^\circ$. Der Parameter der Grundgestalt P in der Hauptaxe beträchtlich gröfser als beim Augit. *Dem Paläo-Epidot kommt folglich — gleich dem Paläo-Natrolith — eine durchaus eigenthümliche Krystallform zu.*

Warum findet man aber, wie es scheint, den Paläo-Epidot so überaus selten, während die Beispiele von dem Auftreten der zuvor beschriebenen Paramorphosen verhältnismäfsig sehr zahlreich sind? Vielleicht ist hieran nur die Beobachtung Schuld. In dem Blum'schen Werke über Pseudomorphosen (Zweiter Nachtrag, S. 46) finden wir mehrere Beispiele einer Arendaler Pseudomorphose von »Epidot nach Skapolith« angeführt. Möglich, dafs in einigen dieser Fälle eine wirkliche Pseudomorphose vorliegt; aber ebenso möglich, dafs dies nicht in allen der Fall ist. Es kommt mir vor, als wenn man jene Epigenie zum Theil blofs aus dem Auftreten des Epidot in einer anscheinenden quadratischen Säule mit abgestumpften Seitenkanten gefolgert habe. Ohne gleichzeitiges Vorhandenseyn der Skapolith-Pyramide wäre diese Folgerung aber in mehr

als einer Hinsicht sehr gewagt; denn unter anderen ist hierbei zu berücksichtigen, daß das Prisma des Paläo-Epidot mit den Abstumpfungen seiner Seitenkanten durch die Flächenpaare $\infty P \infty$ und $(\infty P \infty)$ sich nicht eben auffällig von einem achtfächigen Skapolith-Prisma unterscheidet. Ersteres hat vier Winkel von $133^{\circ} 33'$ und vier Winkel von $136^{\circ} 27'$, letzteres acht Winkel von 135° . Ein solcher Unterschied versteckt sich leicht vor dem Auge des Beobachters.

Hiermit wäre beendet, was sich einstweilen über die Paramorphose von Epidot nach Paläo-Epidot Thatsächliches anführen läßt. Doch will ich die Gelegenheit benutzen, um daran noch einige Betrachtungen über die chemische Constitution der Epidote zu knüpfen. Folgende Uebersicht der Sauerstoff-Verhältnisse der vorzüglichsten Epidot-Analysen möge uns hierbei leiten.

		Sauerstoff.		
Erste Gruppe.		Si	Al	R ¹⁾
1) Z. ²⁾ v. Williamsburgh, n. Thomson	(1,71 Proc. Wasser)	20,89	14,51	7,04 (R)
2) Z. v. Großarl, n. Besnard		20,78	14,25	7,19
Zweite Gruppe.				
3) Z. v. Faltigl, n. Geffken		21,16	15,06	7,59
4) E. v. Zwiesel, n. Kühn	(0,37 Proc. Wasser)	21,09	15,49	7,88 (R)
5) E. v. Arendal, n. Rammelsberg		19,73	14,87	7,17
6) E. v. Arendal, n. R. Richter	(2,41 Proc. Wasser)	20,17	15,15	7,17 (R)
Dritte Gruppe.				
7) Z. v. Kärnthen, n. Thomson	(1,36 Proc. Wasser)	20,42	15,93	6,85 (R)

1) R oder (R), indem einige Epidote wasserhaltig sind. Bei diesen findet man den — als basisches Wasser in Rechnung gebrachten — Wassergehalt angeführt.

2) Z. = Zoisit, E. = Epidot (und Pistazit).

	Si	Mn	Fe
8) Z. v. Fichtelgebirge, n. Bucholz (2,00 Proc. Wasser)	20,91	15,47	6,91 (R)
9) E. v. Ural, n. Wagner (Puschkinit)	20,20	14,79	6,89
10) E. a. d. Dauphinée, n. Kühn	20,69	15,08	6,45
11) E. v. Penig, n. Demselben	20,06	15,49	6,35
12) E. v. Arendal, n. Demselben	19,04	15,17	6,80
13) E. v. Arendal, n. Rammelsberg	20,14	14,41	6,94
14) E. v. Bourg d'Oisans, n. Hermann	19,53	14,53	6,59
15) E. v. Bourg d'Oisans, n. Ram- melsberg ¹⁾	19,94	14,92	6,79

Die drei Gruppen, in welche die Sauerstoff-Verhältnisse hier geordnet sind, werden durch diese Verhältnisse selbst motivirt. Es ist nämlich unverkennbar, und bereits auch von anderen Forschern hervorgehoben worden, daß die Ergebnisse der Epidot-Analysen nicht nahe genug mit einander übereinstimmen, um eine gemeinschaftliche Formel für alle bisher analysirten Epidote zu ermöglichen. In dieser Beziehung finden wir nun, daß die Sauerstoff-Verhältnisse der ersten Gruppe am nächsten stehen der Proportion

$$21 : 14 : 7 \quad . \quad . \quad . \quad (I)$$

die Sauerstoff-Verhältnisse der zweiten Gruppe der Proportion

$$20 : 15 : 7\frac{1}{2} \quad . \quad . \quad . \quad (II)$$

und die Sauerstoff-Verhältnisse der dritten Gruppe der Proportion

$$20 : 15 : 6\frac{2}{3} \quad . \quad . \quad . \quad (III)$$

Die erste dieser Sauerstoff-Proportionen, $21 : 14 : 7 = 3 : 2 : 1 (= 1 : \frac{2}{3} : \frac{1}{3})$ hatte man früher für alle Epidote angenommen; die nähere Betrachtung zeigt aber, daß sie eigentlich nur auf jene beiden älteren Analysen von Thomson und Besnard bezogen werden kann. Ohne in Abrede stellen zu wollen, daß es Epidote von diesem Sauer-

1) Rammelsberg's Handwörterb. Supplem. V, S. 104. Zugleich ist dort auch der Hermann'schen Analyse desselben Minerals gedacht.

stoff-Verhältnisse giebt, können wir dasselbe, trotz seiner lockenden Einfachheit, nicht als ein allgemein gültiges erklären.

Die anderen beiden Sauerstoff-Proportionen sind weniger einfach, haben aber eine grössere Anzahl von Thatsachen für sich. Für die Proportion $20:15:7\frac{1}{2}$ ($=1:\frac{3}{4}:\frac{3}{8}$) sprechen vier Analysen, für die Proportion $20:15:6\frac{2}{3}$ ($=1:\frac{3}{4}:\frac{1}{3}$) deren neun. Letztere macht sich entschieden am geltendsten, und ein besonderes Gewicht zu ihren Gunsten wird noch dadurch in die Wagschale gelegt, daß die Analyse 15 des durch seine Reinheit und die Ausbildung seiner Krystalle ausgezeichneten Epidot von Bourg d'Oisans — eine Analyse, welche Rammelsberg, zur Entscheidung der Frage über die chemische Constitution der Epidote, mit besonderer Sorgfalt ausführte — dieses Sauerstoff-Verhältniß mit aller erreichbaren Schärfe giebt. Denn dasselbe ist

zufolge der Analyse von Rammelsberg 19,94:14,92:6,78

zufolge d. Berechnung nach Prop. III 19,94:14,95:6,65

Ganz entschieden verdient daher die Proportion III eine vorzugsweise Berücksichtigung. Dieselbe läßt sich reduciren zu

$$4:3:1\frac{1}{2}$$

entsprechend einem Atomen-Verhältnisse von

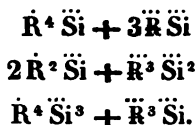


$$4:3:4$$

Abgesehen von jeder Theorie, müssen wir es hiernach als ausgemacht betrachten, daß es Epidote giebt, deren chemische Zusammensetzung dem Atomen-Verhältnisse $\text{Si}:\text{R}:\text{R}=4:3:4$ entspricht. Dieß ist ein auf dem Wege sorgfältiger Beobachtung erlangtes Resultat, an welchem wir — dieser oder jener Theorie zu Liebe — nichts verändern dürfen; es sey denn, daß es durch andere, noch sorgfältigere Beobachtungen gerechtfertigt würde. Wir übergeben daher die Atomen-Proportion $4:3:4$, als eine nicht zu variirende Constante, den verschiedenen Theorien

zur bestmöglichen Deutung. In welcher Art die Elemente $4\ddot{\text{Si}}$, $3\ddot{\text{R}}$ und $4\ddot{\text{R}}$ zu einer chemischen Formel zu combiniren seyen, das ist Sache der Theorie, und hier hat dieselbe — innerhalb der chemischen Grundgesetze — ihren berechtigten Spielraum.

Die *ältere Theorie*, welche in jener Verbindung 4 Atome $\ddot{\text{Si}}$ als einzigen elektronegativen Bestandtheil, 3 Atome $\ddot{\text{R}}$ und 4 Atome $\ddot{\text{R}}$ aber als elektropositive Bestandtheile betrachtet, hat im Ganzen drei Möglichkeiten, dieses Atomen-Verhältniß zu einer Formel — oder doch einem formelartigen Ausdrucke — zu combiniren. Diese Möglichkeiten sind:



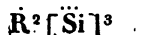
Die erste dieser Formeln enthält in ihrem ersten Gliede ein sehr ungewöhnliches Verhältniß zwischen Base und Säure; seitdem jedoch Rammelsberg nachgewiesen hat, daß im Humit ¹⁾ eine Viertel-kieselsaure Verbindung auftritt, müssen wir auch das Auftreten derselben in anderen Mineralien für möglich halten. Allein sehr unwahrscheinlich, und den geltenden chemischen Principen widersprechend, ist es wohl zu nennen, daß — was jene Formel verlangt — ein *Viertel-Silicat* der stärkeren Base $\ddot{\text{R}}$ mit einem *Drittel-Silicat* der schwächeren Base $\ddot{\text{R}}$ zusammen vorkomme.

Die zweite Formel leidet an einem solchen Widerspruche nicht. Vielleicht findet dieselbe Liebhaber unter den Anhängern der älteren Theorie. Bei der dritten Formel dürfte dieß nicht zu befürchten seyn.

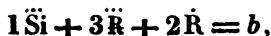
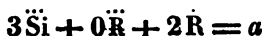
Durch die *neuere Theorie*, welche — nach Grundsätzen des polymeren Isomorphismus — 2 Atome $\ddot{\text{Si}}$ homöomorph mit 3 Atomen $\ddot{\text{R}}$ betrachtet, gestaltet sich unsere Atomen-Proportion $\ddot{\text{Si}}:\ddot{\text{R}}:\ddot{\text{R}} = 4:3:4$, indem wir darin $3\ddot{\text{R}}$ durch

1) Handwörterb. Supplem. V, S. 135.

$2\ddot{\text{Si}}$ vertreten lassen, zu $[\ddot{\text{Si}}] : \ddot{\text{R}} = 6 : 4$, also $= 3 : 2$, woraus sich das einfache stöchiometrische *Formel-Schema* ¹⁾



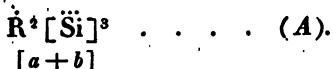
ergiebt. Suchen wir nach der näher bezeichnenden *Formel*, so kann dies auf folgendem Wege geschehen. Eine Verbindung $\text{R}^2\ddot{\text{Si}}^3 = 3\ddot{\text{Si}} + 2\ddot{\text{R}}$, welche als elektronegativen Bestandtheil nur $\ddot{\text{Si}}$ und kein $\ddot{\text{R}}$ enthält, muß homöomorph seyn mit einer Verbindung $\text{R}^2[\ddot{\text{Si}}]^3$, in welcher ein gewisser Theil $\ddot{\text{Si}}$ durch $\ddot{\text{R}}$ ersetzt ist, also homöomorph mit einer Verbindung $1\ddot{\text{Si}} + 3\ddot{\text{R}} + 2\ddot{\text{R}}$. Setzen wir daher



so sind a und b zwei *polymer-homöomorphe Elemente*, denn b entstand aus a , indem $2\ddot{\text{Si}}$ durch $3\ddot{\text{R}}$ in a substituiert wurden. Eine *Combination dieser Elemente* muß, wenn unsere Theorie für diesen Fall anwendbar ist, zu einer chemischen Verbindung führen, welche aus $4\ddot{\text{Si}} + 3\ddot{\text{R}} + 4\ddot{\text{R}}$ besteht. Die einfachst mögliche *Combination* dieser Art ist $= a + b$, und es ergiebt sich



Folglich ist die, dem Beobachtungs-Resultate genau entsprechende, specielle chemische *Formel*:



Zu diesem Ergebniss gelangten wir durch Deutung der Sauerstoff-Proportion III im Sinne des polymeren Isomorphismus. Allein auch die Sauerstoff-Proportion II verlangt unsere Berücksichtigung. Obschon für diese nicht so zahlreiche Thatsachen sprechen wie für die Proportion III, so wird sie doch jedenfalls hinreichend unterstützt, um in Betracht gezogen zu werden. Auch ist zu beherzigen, daß einige Sauerstoff-Verhältnisse der dritten Gruppe denen der zweiten so nahe stehen, daß es fast zweifelhaft ist, zu

1) Diese Ann. Bd. 84, S. 391.

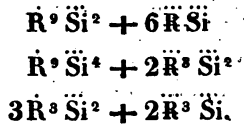
welcher Abtheilung sie gehören. Eine kleine Ungenauigkeit in der Analyse — namentlich die nicht hinreichend genaue Bestimmung des Wassergehaltes — kann hierbei schon von erheblichem Einflusse seyn. Es läßt sich nun das Sauerstoff-Verhältniß $20:15:7\frac{1}{2}$ reduciren zu

$$4:3:1\frac{1}{2} \\ = 8:6:3$$

entsprechend einem Atomen-Verhältniß von

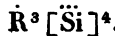
$$\ddot{\text{Si}} \quad \ddot{\text{R}} \quad \ddot{\text{R}} \\ 8:6:9.$$

Nach der *älteren Theorie* kann dies übersetzt werden durch die Formeln

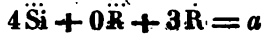


Von diesen Ausdrücken gehört nur allenfalls der dritte unter die chemischen — wenn auch nicht Wahrscheinlichkeiten, doch — Möglichkeiten.

Zufolge der *neueren Theorie* ergibt sich aus der Atomen-Proportion $\ddot{\text{Si}}:\ddot{\text{R}}:\ddot{\text{R}}=8:6:9$, indem wir analog wie oben $6\ddot{\text{R}}$ durch $4\ddot{\text{Si}}$ substituiren, die Proportion $[\ddot{\text{Si}}]:\ddot{\text{R}}=12:9=4:3$, und daher das *Formel-Schema*



Zur Aufsuchung der speciellen *Formel* sind uns als *polymer-homöomorphe Elemente* gegeben



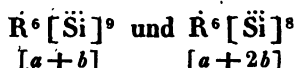
und es stellt sich — wovon man sich leicht überzeugt — als eine dem Beobachtungs-Resultate genügende *Combination dieser Elemente* heraus:



Folglich ist die gesuchte, näher bezeichnende *Formel*:



Wenn wir sonach durch Thatsachen zu der Annahme geleitet werden, daß es zweierlei Epidote giebt, deren chemische Constitution durch die Formeln *A* und *B* ausgedrückt wird, so bliebe noch zu erklären übrig: wie zwei so zusammengesetzte Verbindungen eine gleiche, oder doch ähnliche Krystallform anzunehmen im Stande seyen? In dieser Beziehung ist zu beachten, daß man die Formeln *A* und *B*, ohne an ihren stöchiometrischen Verhältnissen etwas zu ändern, auch schreiben kann



Daß aber zwei derartige, wesentlich nur durch die relative Menge des elektronegativen Bestandtheils verschiedene Verbindungen homöomorph; ja mitunter anscheinend völlig isomorph zu seyn vermögen, dieß entspricht vollkommen dem zweiten Gesetze des polymeren Isomorphismus, für welches ich bereits früher mehrfache Beispiele ¹⁾ aufgestellt habe. In unserem vorliegenden Falle dürfte es schon genügen, nur an die Feldspath-Familie zu denken.

Resumiren wir jetzt die Haupt-Resultate unserer Betrachtungen der chemischen Constitution der Epidote. Dieselben lassen sich ausdrücken, wie folgt:

- 1) Die früher von der älteren Theorie für sämtliche Epidote entworfene Formel stimmt nur mit den Resultaten zweier Analysen überein; dreizehn andere Analysen — und darunter anerkannt sehr genaue — lassen sich nicht in diese Formel zwingen.
- 2) Jene dreizehn Analysen ordnen sich nach den daraus resultirenden Sauerstoff-Gehalten in zwei Gruppen, welche von der älteren Theorie durch die Ausdrücke



repräsentirt werden können, während die Theorie des polymeren Isomorphismus dafür die Formeln

- 1) Man sehe hierüber in Liebig's, Poggendorff's und Wöhler's Handwörterbuch der Chemie die Artikel *Isomorphismus*; *polymerer* (Bd. IV, besonders S. 193 — 197) und *Oligoklas* (Bd. V.). —



aufstellt. Dafs Verbindungen, deren chemische Constitution durch diese beiden letzteren Formeln ausgedrückt wird, isomorph (oder homöomorph) aufzutreten vermögen, wird durch analoge Thatsachen verbürgt.

Die Gestalt der Formeln *A* und *B* führt uns noch einmal auf den *Paläo-Epidot* zurück. Wir haben gesehen, dafs die Krystallform dieses Minerals eine der Augitform ähnliche ist. Die chemische Zusammensetzung der Augite wird zum Theil durch die Formel $R^3 \ddot{Si}^2$, im Allgemeinen aber — wie früher von mir nachgewiesen wurde ¹⁾ — durch das Formel-Schema $R^3 [\ddot{Si}]^2$ ausgedrückt. Ferner ist hier zu berücksichtigen, dafs, wie mehrfach in Erfahrung gebracht worden ist, der Amphibol und (*Paläo Amphibol*) ebenfalls in der Augitform zu krystallisiren vermag, und dafs die chemische Zusammensetzung der Amphibole ²⁾ durch das Formel-Schema $R[\ddot{Si}]+R^3[\ddot{Si}]=R^4[\ddot{Si}]^3$ dargestellt werden kann. Im Ganzen liegen uns daher folgende hier in Betracht kommende Thatsachen vor:

	Formel-Schema.	Krystallform.
Epidot <i>A</i>	$R^2 [\ddot{Si}]^3$	} epidotisch
Epidot <i>B</i>	$R^3 [\ddot{Si}]^4$	
Paläo-Epidot <i>B</i>	$R^3 [\ddot{Si}]^4$	augitähnlich
Augit	$R^3 [\ddot{Si}]^2$	} augitisch und
Amphibol	$R^4 [\ddot{Si}]^3$	
Paläo-Amphibol	$R^4 [\ddot{Si}]^3$	augitisch.

Von diesen Thatsachen heben wir zur leichteren Uebersicht heraus: die Dimorphismen der chemischen Verbindungen:

1) Diese Annalen Bd. 70, S. 545.

2) Ebendaselbst.

		Krystallform.
$\text{R}^3[\text{Si}]^4$	{ als Epidot <i>B</i> . .	epidotisch
	{ als Paläo-Epidot <i>B</i>	augitähnlich
$\text{R}^4[\text{Si}]^3$	{ als Amphibol . .	amphibolitisch
	{ als Paläo-Amphibol	augitisch.

Die Dimorphie von $\text{R}^4[\text{Si}]^3$ giebt uns eine nähere Einsicht in die Art der zuvor dargelegten Dimorphie von $\text{R}^3[\text{Si}]^4$. Dafs beide Verbindungen dimorph seyen, ist ein reines Beobachtungs-Resultat, welches keiner anderen Nachweisung als der Beobachtung selbst bedarf, dafs aber $\text{R}^3[\text{Si}]^4$ — als Paläo-Epidot — eine *augitähnliche* Krystallform anzunehmen vermag, fordert zur Nachforschung des Grundes hiervon auf. Dieser Grund dürfte nicht fern liegen; denn dafs $\text{R}^3[\text{Si}]^4$ eine *gewisse Homöomorphie* mit $\text{R}^3[\text{Si}]^2$ zeigen könne, wird durch das eben angeführte zweite Gesetz des polymeren Isomorphismus begreiflich.

Nicht unwahrscheinlich giebt es, ausser den Epidoten *A* und *B*, noch mehrere chemisch verschiedene Arten dieser Familie. Möglich, dafs die von Breithaupt bei den Epidoten nachgewiesenen äufseren Unterschiede — zum Theil wenigstens — auf solchen Verschiedenheiten beruhen. Jedenfalls stellt es sich immer deutlicher heraus: dafs uns der Fleifs der Mineral-Analytiker noch keinesweges mit hinreichenden Daten zur gründlichen Kenntnifs selbst derjenigen Mineralien versehen hat, mit deren chemischer Constitution wir — durch irgend eine altherkömmliche Formel — ein für allemal auf dem Reinen zu seyn glaubten. Je näher der Forscher seinem Ziele rückt, desto mehr spalten und krümmen sich die Wege dahin!

E. Cyanit nach Andalusit.

Dafs es Andalusite und Cyanite von gleicher chemischer Zusammensetzung giebt, ist bekannt. Wir führen uns diese Thatsache vor Augen, indem wir einen Blick auf die folgenden Analysen werfen.

Andalusit.	Si	Al	Fe	Ca, Mg
v. Herzogau, n. Buchholz	36,5	60,5	4,0	—
v. Fahlun, n. Svanberg	37,65	59,87	1,87	0,96
v. Munzig, n. Kersten	37,51	60,01	1,49	0,94
v. Tyrol, n. Thomson	35,30	60,20	1,47	1,00 ¹⁾
Cyanit.				
v. Røraas, n. Arfvedson	36,4	63,8	—	—
v. St. Gotthardt, n. Rosales	36,67	63,11	1,19	—
v. Tyrol, n. A. Erdmann	37,36	62,09	0,71	—
v. St. Gotthardt, n. Marignac	36,60	62,66	0,84	—
v. Greiner, n. Jacobsen	37,30	62,60	1,08	—
v. Tyrol, n. v. Hubert	36,67	60,00	1,33	0,93
v. Steyermark, n. Dementselben	37,63	59,14	0,86	2,51.

Es folgt hieraus, daß die Verbindung Al^3Si^2 — entsprechend 37,50 Proc. Kieselerde und 62,50 Proc. Thonerde — eine dimorphe ist, indem sie sowohl die rhombische Krystallform des Andalusit, als die klinödrische des Cyanit anzunehmen vermag. Eine nicht minder bekannte Thatsache ist es, daß Krystalle von der äusseren Form des Andalusit vorkommen, welche aus einem fein- bis grobkörnig krystallinischen Aggregate von Cyanit Individuen bestehen. Die beiden zuletzt angeführten Cyanit-Analysen, von v. Hubert, beziehen sich auf ein Vorkommen dieser Art, welches Haidinger²⁾ beschrieben hat. Solche Krystalle sind also heteroaxe *Paramorphosen von Cyanit nach Andalusit*. Paläo-Cyanit wäre hier wohl ein weniger passender Ausdruck, da dieses Mineral als identisch mit einem noch vorhandenen Minerale, dem Andalusit, angesehen werden müßte.

(Fortsetzung folgt).

1) Außerdem noch 2,03 H.

2) Jahrb. d. k. k. geolog. Reichsanstalt, 1851, S. 350. — Daß in einigen der hier erwähnten Krystalle zugleich die mit Al^3Si^2 isomorphe Verbindung Al^4Si^3 (= 40,3 Proc. Si und 59,7 Proc. Al) auftritt, gehört einem Phänomen an, mit welchem wir uns im Verlaufe dieser Abhandlung ausführlicher beschäftigen werden.

IV. *Ueber die Krystallform des künstlichen Schwefelwismuths; von G. Rose.*

Schon vor längerer Zeit hatte mir Hr. Werther einige Krystalle von der niederen Schwefelungsstufe des Wismuths, die er analysirt und beschrieben hatte ¹⁾ mitgetheilt, um mit ihnen selbst einige Messungen anzustellen. Die Krystalle waren sehr dünn, haarförmig und zeigten eine große Menge schmaler Seitenflächen, ließen sich aber dessentwegen noch mit einer ziemlichen Genauigkeit messen und eine der Flächen, parallel welcher die Krystalle sich sehr vollkommen spaltbar zeigten, reflectirte sogar ziemlich scharf begrenzte Bilder. Die erhaltenen Resultate meiner Messungen stimmten aber nicht ganz mit den von Hrn. Werther angegebenen überein, sie zeigten, daß die Krystalle nicht quadratische Prismen, wie dort angeführt, sondern wenig geschobene rhombische wären, und also nicht zum 2- und laxigen System, sondern zum 1- und laxigen gehörten, was auch durch die ganze Symmetrie derselben bewiesen wurde.

Die Krystalle stimmten mit denen des Wismuthglanzes und mit denen des damit isomorphen Antimonglanzes so überein, daß es mir sehr wahrscheinlich wurde, daß die mitgetheilten Krystalle nicht die niedere, sondern die gewöhnliche höhere Schwefelungsstufe wären.

Ich theilte schon damals Hrn. Werther die Resultate meiner Versuche mit und ersuchte ihn zu veranlassen, die Ursachen unserer abweichenden Messungen auszumitteln, aber neu eingetretene Verhältnisse, die eine Reihe neuer Arbeiten veranlaßten, hatten Hrn. Werther stets daran verhindert, zu den alten Arbeiten zurückzukehren, bis Hr. Schneider dieselben wieder aufnahm. Derselbe suchte ebenfalls die niedere Schwefelungsstufe darzustellen, und theilte mir alle erhaltenen Krystalle zur Messung mit; sie

1) Journal f. pr. Chemie von Erdmann und Marchand, Jahrg. 1842. Th. 3, S. 65.

waren häufig größer als die von Hrn. Werther erhaltenen, und eigneten sich auf diese Weise zu vollkommenern Messungen, gaben aber stets dasselbe Resultat wie die des Hrn. Werther, obgleich sie von der Zusammensetzung des Wismuthglanzes oft sehr abwichen, und oft sehr nahe die Zusammensetzung der niederen Schwefelungsstufe hatten.

Den beharrlichen Bemühungen des Hrn. Schneider ist es nun gelungen, den Grund des anscheinenden Widerspruchs zwischen der chemischen Zusammensetzung und der Krystallform aufzufinden und zu beweisen, daß die Krystalle wirklich die höhere Schwefelungsstufe also Wismuthglanz wären, und die abweichende Zusammensetzung nur von eingemengtem Wismuth herrühre. Es geht auch daraus hervor, daß die Verschiedenheit der früheren Winkelangaben auf einem Irrthum beruht, der bei den feinen Krystallen leicht möglich war.

Die Form der gemessenen Krystalle ersieht man aus den Fig. 1, 2, 3, welche horizontale Projectionen der nadelförmigen Krystalle darstellen. An den Enden auskrystallisirt, habe ich sie nie beobachtet; sie waren hier stets verbrochen, oder mit einer der geraden Endfläche parallelen Spaltungsfläche begrenzt, die aber stets unterbrochen war, und an Vollkommenheit der Spaltungsfläche nach der Längsfläche b des rhombischen Prisma g sehr nachstand. Die Fig. 1 und 2 Taf. IV, stellen die von Hrn. Schneider, Fig. 3 die von Hrn. Werther erhaltenen Krystalle dar. Die daran beobachteten einfachen Formen sind:

$$g = (a : b : \infty c)$$

$$\frac{1}{2}g = (a : \frac{1}{2}b : \infty c)$$

$$\frac{1}{4}g = (a : \frac{1}{4}b : \infty c)$$

$$4g = (a : 4b : \infty c)$$

$$a = (a : \infty b : \infty c)$$

$$b = (\infty a : b : \infty c)$$

Als Mittel wenig unter einander abweichender Messungen ergab sich für die Neigung von g gegen b der Winkel von $134^{\circ} 40'$. Hiernach beträgt die Neigung von:

$$g : g = 90^{\circ}40' \text{ (über } a \text{)}$$

$$\frac{1}{2}g : \frac{1}{2}g = 53 \ 40$$

$$\frac{1}{4}g : \frac{1}{4}g = 28 \ 23$$

$$4g : 4g = 152 \ 14$$

$$g : a = 135 \ 20$$

$$\frac{1}{2}g : a = 116 \ 50$$

$$\frac{1}{4}g : a = 104 \ 12$$

$$4g : a = 166 \ 7.$$

Diese Winkel weichen wenig von denen ab, die Phillips bei künstlichen Krystallen des Schwefelwismuths gemessen hat ¹⁾, und wonach der Winkel von $g : b$ 134 30 beträgt. Miller führt dieselben Winkel an ²⁾, giebt außer der Quer- und Längsfläche, die Phillips neben dem rhombischen Prisma bei den künstlichen Krystallen nur allein anführt, noch eine Fläche ($a : \frac{1}{2}b : \infty c$) an, die nach ihm einen Winkel von 161° 16' mit der Längsfläche macht, eine Fläche, welche ich an den vielen Krystallen, die ich zu messen Gelegenheit hatte, nicht bemerkt habe.

Von den natürlichen Krystallen beschreibt Phillips ³⁾ noch mehrere Flächen, deren Neigungen aber, wegen der starken Längsstreifung nur sehr unsicher bestimmt sind; wenigstens lassen sich aus den Angaben keine einfachen Werthe für die entsprechenden Axen ableiten.

1) Poggendorff's Annalen von 1827, Bd. 11, S. 476.

2) *An elementary introduction to mineralogy by Brooke and Miller.* 1852, p. 173.

3) A. a. O. S. 477.

V. Untersuchungen über das Wismuth; von R. Schneider.

Dritte Abhandlung.

Ueber das auf trockenem Wege dargestellte Wismuthsulfuret.

In Berzelius' Lehrbuch II, S. 581 wird die Entdeckung dieser Verbindung Mather zugeschrieben. Es muß indess bemerkt werden, daß Mather's ¹⁾ Angaben sich gar nicht auf eine nach der Formel Bi_2S_3 zusammengesetzte, sondern auf eine Verbindung beziehen, die nach den mitgetheilten Analysen entschieden weniger Schwefel enthielt, als jene Formel verlangt. Mather gab derselben unter Annahme des früheren Wismuth-Aequivalentes (887) die Formel Bi_2S . Diese Verbindung war auf die Weise dargestellt, daß drei Theile käufliches Wismuth (*the common bismuth of commerce*) mit einem Theile Schwefel in einem bedeckten Tiegel bis zum Weißglühen erhitzt und eine halbe Stunde dabei erhalten wurden. Bei der Analyse gaben 176 Theile dieser Substanz:

154,945	Theile Wismuth,
16,156	„ Schwefel,
4,899	„ Verlust,
<hr/>	
176,000.	

Den ziemlich bedeutenden Verlust (von 2,78 proc.) außer Acht gelassen, giebt dies, in Procenten ausgedrückt:

90,23	proc. Wismuth
9,77	„ Schwefel
<hr/>	
100,00.	

Die von Mather aufgestellte Formel Bi_2S erfordert, wenn man mit ihm das Aequivalent des Wismuths zu 887 annimmt, folgende Zahlen:

1) *Sillim. Journ. of Science.* XXIV, 189. u. XXVII, 264.

$$2Bi = 1774 = 89,87 \text{ proc. Wismuth}$$

$$S = 200 = 10,13 \text{ " Schwefel}$$

$$\hline 1974. \quad 100,00.$$

Das Aequivalent des Wismuths auf (die richtige Zahl) 2600 gesetzt, entsprechen die Resultate der Matherschen Analyse noch am Besten der Formel $Bi_2 S_3$, welche folgende Zahlen verlangen würde:

$$2Bi = 5200 = 89,66 \text{ proc. Wismuth}$$

$$3S = 600 = 10,34 \text{ " Schwefel}$$

$$\hline 5800. \quad 100,00.$$

Es handelt sich hier also um eine Substanz, die entschieden weniger Schwefel enthält, als der im Lehrbuche von Berzelius als Sulfuret aufgeführten Verbindung zukommen würde.

Da sich übrigens Wismuth in jedem Verhältnisse mit Schwefelwismuth zusammenschmelzen läßt, so wird, wie dieß auch Berzelius ¹⁾ schon ausgesprochen hat, durch die obigen Angaben von Mather die Existenz einer nach der Formel $Bi_2 S_3$ zusammengesetzten Schwefelungsstufe des Wismuths noch nicht völlig erwiesen, — zumal bei einem so bedeutenden Verluste der Analyse, von dem es noch dazu zweifelhaft bleibt, ob er beide Bestandtheile (den Schwefel und das Wismuth) in gleichem Maasse, oder einen besonders getroffen habe ²⁾. → Auch

1) Jahresbericht XV, 157.

2) Mather selbst sucht diesen Verlust theils aus der Löslichkeit des kohlen-sauren Wismuthoxydes in kohlensaurem Ammoniak, theils aus der Verflüchtigung von etwas schwefliger Säure (bei der Oxydation der Substanz durch Salpetersäure) zu erklären. Es kann indess weder auf die eine noch auf die andere Art ein so bedeutender Verlust entstanden seyn. Aus einer Lösung von salpeter- und schwefelsaurem Wismuthoxyd wird durch überschüssiges kohlensaures Ammoniak, vorzüglich wenn man den Niederschlag einige Zeit an einem warmen Orte stehen läßt, das Wismuthoxyd bis auf Spuren gefällt, denn Schwefelwasserstoff bewirkt in der davon abfiltrirten Flüssigkeit kaum eine schwach bräunliche Färbung, niemals aber einen wirklichen wägbaren Niederschlag. Außerdem ist nicht einzusehen, wie bei Gegenwart überschüssiger Salpetersäure die Bildung von schwefliger Säure zu Stande gekommen seyn soll. Der Verlust der Analyse muß also wohl noch eine

scheinen einige meiner eigenen Versuche, von denen weiter unten die Rede seyn wird, der Annahme eines Schwefelwismuths der Formel $Bi_2 S_3$ wenig günstig zu seyn.

Weiter heisst es in Berzelius' Lehrbuch (l. c.): » Nach Wertheim wird sie (nämlich die Verbindung von $Bi S_2$) krystallisirt erhalten, wenn man Wismuth und Wismuthsulfuret zu gleichen Gewichten zusammenschmilzt und die geschmolzene Masse langsam erkalten lässt, indem dann das Sulfuret aus dem noch flüssigen Metall auskrystallisirt, so dass diefs von den Krystallen abgegossen werden kann. »

Der Name Wertheim muss hier (sowie auch im Jahresbericht XXIII, 131) in Werther umgeändert werden ¹⁾. Zugleich aber muss bemerkt werden, dass Werther ²⁾ sein Schwefelwismuth gar nicht nach der von Berzelius hier angegebenen Methode erhalten hat. Nur die erste von ihm (l. c. S. 66) mitgetheilte Analyse bezieht sich auf Krystalle, die erhalten worden waren, als käufliches, mit Schwefel stark verunreinigtes Wismuth geschmolzen und dasselbe vor dem gänzlichen Erstarren theilweise ausgegossen wurde. Dass Berzelius die von Werther selbst bei der Darstellung seines Schwefelwismuths befolgte Methode an dieser Stelle (des Lehrbuchs) gar nicht erwähnt hat, muss um so mehr befremden, als sich doch im Jahresberichte für 1844 Andeutungen darüber finden.

Werther (l. c.) erhielt sein Schwefelwismuth einfach durch Zusammenschmelzen von Wismuth mit überschüssigem Schwefel und mehrmaliges Umschmelzen unter erneu-

andere Ursache gehabt haben; möglicherweise kann er von einer Verunreinigung des benutzten *käuflichen* Wismuths durch andere Metalle, die bei der Analyse übersehen wurden, hergerührt haben.

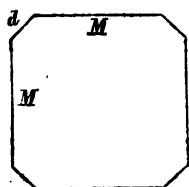
- 1) Es erklärt sich diese Namenverwechslung wohl aus dem Umstande, dass Mitscherlich (Poggend. Annal. 57, 481) in derselben Sitzung der Berliner Academie, wo er die Versuche Werthers über Schwefelwismuth mittheilt, zufällig auch über eine Reihe von Wertheim dargestellter Uranoxyd-Doppelsalze referirte. Berzelius las in beiden Fällen Wertheim, wie diefs bei der grossen Aehnlichkeit der betreffenden Namen wohl leicht geschehen konnte.

- 2) Jour. für pract. Chemie 27, 65.

tem Zusatz von Schwefel. Im Innern der schnell erkalteten Masse fand sich eine große Druse gut ausgebildeter Krystalle; die übrige compacte Masse zeigte ein strahliges Gefüge und besaß nach Werther »vollkommen den Charakter einer chemischen Verbindung.« Bei einer Vergleichung der Eigenschaften des so erhaltenen Schwefelwismuths mit denen des Wismuthglanzes (Bi S_3) fand Werther in Bezug auf Farbe, Schmelzbarkeit, spezifisches Gewicht und Krystallform erhebliche Abweichungen, durch die es, zumal da auch zwei von Werther ausgeführte Analysen ziemlich genau zu der Formel Bi S_2 stimmten, so gut wie ausgemacht zu seyn schien, daß die fragliche Substanz als eine vom Wismuthglanze wesentlich verschiedene Schwefelungsstufe, und zwar als Wismuthsulfuret angesehen werden müsse.

Die Angaben Werther's wurden später von Heintz ¹⁾ bestätigt; auch Heintz erhielt beim Zusammenschmelzen von Wismuth und Schwefel ein Product, welches bei der Analyse ziemlich nahe nach der Formel Bi S_2 zusammengesetzt gefunden wurde.

Schwerlich würde ich über einen anscheinend so gut eruirten Gegenstand von Neuem die Untersuchung aufgenommen haben, wenn ich nicht durch eine Privatmittheilung des Herrn G. Rose auf einen sonderbaren Widerspruch aufmerksam gemacht worden wäre, der sich hinsichtlich der Form und der angeblichen Zusammensetzung des Wertherschen Schwefelwismuths nachträglich herausgestellt hatte. Nach Werther's eigenen Angaben sollte



nämlich die Krystallform seines Schwefelwismuths ein »reguläres, vierseitiges Prisma mit abgestumpften Seitenkanten« seyn und sollte demnach der

Winkel $M:M = 90^\circ$, der

» $M:d = 135^\circ$ betragen.

Abweichend davon fand Hr. G. Rose ²⁾ bei wieder-

1) Pogg. Ann. 63, 57.

2) S. die vorhergehende Abhandlung in diesem Hefte der Annalen.

holt angestellten genauen Messungen der von Werther erhaltenen Krystalle, daß dieselben, obgleich in den Winkeln von den Angaben Werther's nur unbedeutend abweichend, doch entschieden nicht dem regulären (oder quadratischen), sondern dem rhombischen Systeme angehörten, — ja daß die Form derselben mit der des Wismuthglanzes übereinstimmte ¹⁾. Also dieselbe Krystallform bei entschieden abweichender chemischer Zusammensetzung, — ein mit dem Gesetze des Isomorphismus anscheinend in directem Widerspruch befindlicher Fall!

Eine Prüfung dieses sonderbaren Verhaltens mußte in einer genauen Wiederholung der Wertherschen Versuche ihren natürlichsten Ausgangspunkt erkennen. Es wurde daher genau nach der von Werther befolgten Methode und unter Beibehaltung selbst der von ihm gewählten Gewichtsverhältnisse die Darstellung von Schwefelwismuth versucht. Zu diesem Ende wurde zuerst $\frac{1}{4}$ Pfd. Schwefel im hessischen Tiegel geschmolzen, dann ein inniges Gemenge von $2\frac{1}{2}$ Pfd. gröblich gepulvertem (durch mehrmaliges Umschmelzen mit Salpeter gereinigtem) Wismuth und $\frac{1}{2}$ Pfd. Schwefel in kleinen Quantitäten eingetragen und darauf die Hitze so lange gesteigert, bis (bei heller Rothgluth) der Inhalt des bedeckten Tiegels in gleichmäßigen Fluß gekommen war. Derselbe wurde etwa 10 Minuten lang darin erhalten. Im Innern der schnell erkalteten Masse fand sich eine ziemlich große, mit zahlreichen, gut ausgebildeten Krystallen maschenartig erfüllte Druse. Die derbe Masse von krystallinisch-strahligem Gefüge zeigte sich von ganz gleichmäßiger Beschaffenheit und konnten selbst mit bewaffnetem Auge durchaus keine metallischen Ausscheidungen darin wahrgenommen werden.

Was die Methode betrifft, nach welcher das bei dieser ersten Schmelzung, sowie auch alles später erhaltene Schwefelwismuth analysirt worden ist, so bemerke ich, um Wie-

1) Die große Annäherung der von Werther angegebenen Winkel an die des Wismuthglanzes hat schon L. Gmelin (Handbuch II, 852) auffallend gefunden.

derholungen zu vermeiden, darüber ein- für allemal Folgendes:

Die Zersetzung der Substanz wurde durch rothe rauchende Salpetersäure bewirkt. Der Schwefel wurde in den meisten Fällen nicht vollständig oxydirt, sondern zum Theil in Substanz abgeschieden und als solcher zur Wägung gebracht. Aus der mit heißem Wasser mäßig verdünnten und filtrirten Lösung wurde durch Ammoniak und kohlensaures Ammoniak das Wismuthoxyd, und aus der davon abfiltrirten, mit Chlorwasserstoffsäure im Ueberschuss versetzten Flüssigkeit (nach Vertreibung aller Kohlensäure) durch Chlorbaryum die Schwefelsäure gefällt. — Bei der anfänglichen Zersetzung des Schwefelwismuths durch Salpetersäure wurde fast regelmässig aufer dem Schwefel eine kleine Menge einer weissen, flockig körnigen Substanz abgeschieden, die durch einen Ueberschuss von Salpetersäure nicht wieder aufgelöst werden konnte. Dieselbe bestand, wie sich bei genauer Prüfung ergab, aus Chlorsilber; sie färbte sich im Lichte allmählig graublau und war im Aetzammoniak vollkommen auflöslich. Die Bildung dieses Chlorsilbers erklärt sich aus einem kleinen Silbergehalte ¹⁾ des angewandten Wismuths und einem entsprechend kleinen Chlorgehalte ²⁾ der angewandten Salpetersäure. Dasselbe wurde dem Gewichte nach bestimmt und daraus die Menge des vorhandenen Silbers berechnet.

Erste Versuchsreihe.

Um die chemische Natur des nach der oben beschriebenen Methode dargestellten Schwefelwismuths genau kennen zu lernen, habe ich es nicht für genügend erachtet,

- 1) Es verdient darauf aufmerksam gemacht zu werden, dass das käufliche Wismuth sehr häufig kleine Mengen von Silber enthält; mir ist bis jetzt im Handel fast kein Wismuth vorgekommen, in dem ich nicht einen Silbergehalt nachzuweisen vermocht hätte.
- 2) Der jedenfalls sehr unbedeutende Chlorgehalt der Salpetersäure war, wie es schien, gerade hinreichend, den kleinen Silbergehalt des Wismuths auszufällen, denn es würde in der vom Chlorsilber abfiltrirten Flüssigkeit weder durch Chlorwasserstoffsäure noch durch Silberlösung eine bemerkbare Trübung hervorgebracht.

allein die Krystalle der Druse zu analysiren; es wurden außerdem Proben der derben Masse von zwei verschiedenen Stellen eines mittleren Querdurchschnitts und zwar aus gleicher Höhe mit der Druse entnommen und der Analyse unterworfen. Die dabei erhaltenen Resultate waren folgende:

A. Krystalle der Druse (sorgfältig ausgesuchte Exemplare). Das spec. Gewicht derselben wurde (im Mittel aus drei Versuchen) zu 7,10 gefunden. Hinsichtlich der Form stimmten dieselben nach Hrn. G. Rose's Messung mit den Wertherschen vollkommen überein, sie hatten wie diese die Form des Wismuthglanzes.

I. In 1,744 Grm. dieser Krystalle wurden gefunden:

1,506 Grm.	=	86,35	proc. Wismuth
0,229 "	=	13,13	" Schwefel
0,005 "	=	0,28	" Silber
<hr/>			
		99,76.	

H. 1,1735 Grm. derselben gaben:

1,013 Grm.	. . . . .	=	86,32	proc. Wismuth
0,003 "	. . . . .	=	0,25	" Silber

Der Schwefel wurde bei dieser Analyse nicht direct bestimmt. Aus dem

Verlust ergeben sich	=	13,43	" Schwefel
<hr/>			
		100,00.	

B. Derbe Masse aus der Nähe der Druse. Aus 2,927 Grm. wurden erhalten:

2,5175 Grm.	=	86,01	proc. Wismuth
0,396 "	=	13,53	" Schwefel
0,0045 "	=	0,15	" Silber
<hr/>			
		99,69.	

C. Derbe Masse aus der Nähe des Randes. 1,493 Grm. derselben gaben:

1,257 Grm.	=	84,12	proc. Wismuth ¹⁾
0,235 "	=	15,74	" Schwefel
<hr/>			
		99,86.	

1) Der Silbergehalt zeigte sich in diesem Falle so unbedeutend, daß er nicht quantitativ bestimmt werden konnte.

Bei näherer Betrachtung dieser analytischen Ergebnisse zeigt sich, daß die aus der Druse entnommenen Krystalle ziemlich nahe die Zusammensetzung der von Werther erhaltenen haben, also auch eben so nahe die Zusammensetzung, die einer aus einem Aequivalent Wismuth und zwei Aequivalenten Schwefel bestehenden Verbindung zukommen würde. Werther fand die von ihm erhaltenen Krystalle zusammengesetzt aus:

86,203	proc. Wismuth ¹⁾ , und
13,813	„ Schwefel
<hr/>	
100,016.	

Heintz das von ihm dargestellte Schwefelwismuth, das indeß nicht in ausgebildeten Krystallen vorgelegen zu haben scheint, aus:

86,20	proc. Wismuth, und
13,72	„ Schwefel
<hr/>	
99,92.	

Der Formel Bi S_2 würden genau folgende Zahlenverhältnisse entsprechen:

$\text{Bi} = 2600$	. . .	86,67	proc. Wismuth
$2\text{S} = 400$	. . .	13,13	„ Schwefel
<hr/>		100,00.	

Aehnlich wie in den Krystallen stellt sich das Verhältniß von Schwefel und Wismuth in den der Druse zunächst gelegenen Theilen der derben Masse, obgleich hier schon, wenn-sonst man der Analyse bis auf so kleine Differenzen Vertrauen schenken darf, eine geringe Abnahme des Wismuthgehaltes bemerkbar wird. Weit stärker aber tritt diese Abnahme hervor, bei der dem Rande entnommenen Probe, indem hier der Wismuthgehalt auf nahe 84 Proc. herabsinkt, so daß sich die Zusammensetzung dieser Schichten (nahe den Wänden des Tiegels) ziemlich genau in die Mitte zwischen die des Wismuthglanzes (Bi S_3) und die des angeblichen Sulfürs (Bi S_2) stellt.

- 1) Unter Zugrundelegung des berichtigten Wismuthaequivalentes (2600) berechnen sich übrigens aus den directen Ergebnissen der Analysen von Werther und Heintz in beiden Fällen nur 85,99 Proc. Wismuth.

Wenn nun einerseits das Ergebniss der Analyse der Krystalle (A.) geeignet schien, den Angaben Werther's zur Bestätigung zu dienen, so mußte es andererseits befremden, in der derben Masse (B. und C.), obgleich dieselbe, wie auch die von Werther erhaltene, äußerlich durchaus den Charakter einer gleichmäßigen chemischen Verbindung an sich trug, einer ungleichmäßigen Zusammensetzung zu begegnen und zwar im letzteren Falle (C.) einer Zusammensetzung, die weder mit der Formel des Wismuthglanzes (BiS_3), noch mit der des angeblichen Sulfürs (BiS_2) verträglich war. — Woher dieses sonderbare Verhalten? Zur Erklärung desselben konnte einmal die Annahme dienen, daß es sich in der geschmolzenen Masse vielleicht um ein Gemisch zweier (oder mehrerer) chemischen Verbindungen in unbestimmten Verhältnissen handle; aber auch zu der Vermuthung, daß dem Schwefelwismuth metallisches Wismuth mechanisch beigemischt seyn könne, schien einiger Grund vorhanden, und zwar um so mehr, als nach Berzelius's ¹⁾ Angabe Schwefelwismuth und Wismuth in jedem Verhältnisse zusammengeschmolzen werden können.

Zur Entscheidung der Frage schien es von Wichtigkeit, das Verhalten des nach der oben beschriebenen Methode dargestellten Schwefelwismuths gegen Chlorwasserstoffsäure kennen zu lernen. War neben Schwefelwismuth wirklich metallisches Wismuth als solches vorhanden, so mußte dasselbe bei der Behandlung der Substanz mit Chlorwasserstoffsäure, zum Theil wenigstens, ungelöst und zwar von der Beschaffenheit des geschmolzenen Metalles zurückbleiben. Und so verhielt es sich denn auch in der That. Als eine kleine Menge der derben Masse mit heisser Salzsäure behandelt wurde, blieb, nachdem die Entwicklung von Schwefelwasserstoff völlig aufgehört hatte, ein Rückstand von krystallinisch-fasriger Beschaffenheit, der auch bei länger fortgesetztem Kochen mit Chlorwasserstoffsäure nicht mehr verändert wurde. Derselbe war

1) Lehrbuch II, 581.

von weit hellerer Farbe, als das Schwefelwismuth, zeigte deutlichen Metallglanz und bestand, wie eine genaue Prüfung ergab, aus reinem Wismuth, vollkommen frei von Schwefel. — Es wurden nun die der Druse entnommenen Krystalle auf dieselbe Weise untersucht: sie zeigten ganz dasselbe Verhalten; d. h. sie hinterließen nach der Behandlung kleine zarte, metallglänzende Nadeln, gleichsam Skelette ¹⁾ der ursprünglichen Krystalle, die aus reinem, schwefelfreiem Wismuth bestanden. In der erhaltenen salzsauren Lösung war, selbst wenn die Digestion bei völligem Luftabschluß (unter Wasserstoff oder Kohlensäure) stattgefunden hatte, nur Wismuthchlorid enthalten.

Die Menge dieses von den Krystallen eingeschlossenen Wismuths wurde in zwei übereinstimmenden Analysen zu nahe 20 Proc. gefunden. Da indess die Scheidung desselben vom Schwefelwismuth nur ganz einfach durch Chlorwasserstoffsäure bewirkt wurde und Wismuth in dieser Säure bekanntlich nicht ganz unlöslich ist, so muß die obige Bestimmung offenbar noch etwas zu niedrig ausgefallen seyn. Gesezt aber auch, es wären wirklich nur 20 Procent Wismuth als solches in den Krystallen enthalten gewesen, so würden an die gefundenen 13,28 Procent Schwefel doch immer nur $86,34 - 20 = 66,34$ Procent Wismuth wirklich chemisch gebunden gewesen seyn, — ein Verhältniß, welches sich von der Zusammensetzung des angeblichen Sulfürs (BiS_2) sehr bedeutend entfernt, dagegen bis auf einen gewissen Grad der Zusammensetzung des Wismuthglanzes (BiS_3) annähert ist.

Sicher ist nach den bisher mitgetheilten Versuchen, daß in dem fraglichen Schwefelwismuth, und zwar nicht nur in der derben Masse, sondern auch (worauf ich ganz be-

1) Betrachtet man einen solchen Krystall nach der Behandlung mit Salzsäure unter dem Mikroskope, so findet man denselben, besonders in der Richtung der Längsaxe, völlig zerklüftet, so daß man auf langen Strecken quer hindurchsehen kann; von einer regelmäßigen Begrenzung ist natürlich durchaus nichts mehr zu bemerken.

sonders Gewicht lege) in den Krystallen metallisches Wismuth *als solches* in beträchtlicher Menge enthalten ist und dass folglich auch die rationelle Zusammensetzung dieser Krystalle nicht wohl durch die Formel Bi S_2 ausgedrückt werden kann ¹⁾. Der Umstand aber, dass Wismuth und Schwefel gerade in dem Verhältniss darin enthalten sind, wie es dieser Formel nahezu entspricht, muss, wie fortgesetzte Versuche (s. weiter unten) ausgewiesen haben, als etwas Zufälliges angesehen und darf als richtiger Ausdruck für die rationelle Zusammensetzung der Krystalle mit vieler Wahrscheinlichkeit die Formel $\text{Bi S}_2 + x \text{ Bi}$ angenommen werden. In wie weit mit dieser Zusammensetzung die durch Hrn. G. Rose ermittelte Form der Krystalle verträglich ist, wird gleichfalls aus dem Folgenden erhellen.

Zweite Versuchsreihe.

Die bei der ersten Schmelzung (s. oben) erhaltene Substanz wurde unter Zusatz von 4—5 Loth Schwefel umgeschmolzen und zwar bei der *möglichst niedrigen* Temperatur, bei welcher die Masse in gleichmässigen Fluss gerieth; auch wurde dieselbe kürzere Zeit als bei der ersten Schmel-

- 1) Schwerlich dürfte hier der Einwand gemacht werden: es könne die bloße Abscheidung von metallischem Wismuth bei der Behandlung der fraglichen Substanz mit Chlorwasserstoffsäure noch keinen genügenden Beweis dafür abgeben, dass diese nicht dennoch Wismuthsulfür sey, — möglicherweise könne diese Verbindung durch starke Mineralsäuren nach Art der Suboxyde zerlegt werden, wobei denn natürlich Metall abgeschieden und eine dem Oxyde entsprechende Verbindung (Chlorid) in Lösung übergeführt werden müsse. Ginge die Zersetzung wirklich in dieser Art vor sich, so könnte das abgeschiedene Wismuth unmöglich, wie es doch der Fall ist, die Eigenschaften (Farbe, krystallographische Structur) des geschmolzenen Metalles beibehalten, — es würde sich, da Theilchen für Theilchen abgeschieden werden müsste, als schwarzes amorphes Pulver darstellen, wie es nach meinen (in einer späteren Arbeit mitzutheilenden) Beobachtungen auch geschieht, wenn gewisse Salze, die nachweislich Wismuthchlorür enthalten, mit starken Mineralsäuren behandelt werden.

zung (etwa nur 5 Minuten) im Flusse erhalten. Im Inneren der schnell erkalteten Masse fand sich (außer einigen kleinen) wieder eine große Druse, mit sehr schönen, wohl ausgebildeten Krystallen erfüllt. Die übrige Masse zeigte sich der bei der ersten Schmelzung erhaltenen äußerlich vollkommen gleich; auch konnten, selbst unter dem Mikroskope bei ziemlich starker Vergrößerung keine metallischen Ausscheidungen darin bemerkt werden. — Die von verschiedenen Stellen dieser Masse (und zwar in der Höhe der Druse) entnommenen Proben ergaben bei der Analyse Folgendes:

A. Krystalle der Druse (sorgfältig ausgesuchte Exemplare).

1,092 Grm. derselben gaben:

0,913	"	. . .	= 83,61 Proc. Wismuth,
0,179	"	. . .	= 16,39 " Schwefel,
0,00075	"	. . .	= 0,07 " Silber
			<hr/> 100,07.

Die Form dieser Krystalle, deren spezifisches Gewicht (als Mittel aus zwei Versuchen) zu 6,81 gefunden wurde, war nach der Bestimmung des Hrn. G. Rose wieder die des Wismuthglanzes, also auch die der früher erhaltenen Krystalle (s. oben S 410), obgleich sie sich in ihrer empirischen Zusammensetzung nicht unbedeutend von jenen entfernen.

B. Derbe Masse, aus der Nähe der Druse entnommen.

1,977 Grm. derselben gaben:

1,6434 " = 83,12 Proc. Wismuth

Schwefel- und Silbergehalt wurden in diesem Falle nicht bestimmt. Aus der Differenz ergibt sich die Summe beider zu

= 16,88 Proc.

100,00.

C. Derbe Masse, vom äußersten Rande entnommen.

2,313 Grm. derselben gaben:

1,917 Grm.	=	82,88 Proc.	Wismuth
0,390 "	=	16,86 "	Schwefel
0,00075 "	=	0,03 "	Silber
		<u>99,77.</u>	

Im Allgemeinen steht das Product dieser Schmelzung in seiner Zusammensetzung dem Wismuthglanze weit näher als dem angeblichen Sulfür. Der Formel des Wismuthglanzes entsprechen nämlich genau folgende Zahlen:

Bi = 2600	. . .	81,25 Proc.	Wismuth
3S = 600	. . .	18,75 "	Schwefel
		<u>3200.</u>	<u>100,00.</u>

Es geht hieraus hervor, daß, je niedriger die eingehaltene Temperatur und je kürzer die Einwirkung derselben, desto mehr Schwefel mit dem Wismuth durch Zusammenschmelzen vereinigt werden kann. Damit stimmen denn auch ganz gut die Angaben von Lagerhjelm und J. Davy ¹⁾ überein, nach denen durch Zusammenschmelzen von Schwefel und Wismuth Schwefelwismuth von der Zusammensetzung des Wismuthglanzes erhalten werden kann.

Gegen Chlorwasserstoffsäure zeigte die bei dieser zweiten Schmelzung erhaltene Substanz (Krystalle sowohl wie derbe Masse) ein dem oben (S. 413) besprochenen ganz ähnliches Verhalten und zwar hinterließ ein Stück aus der Nähe der Druse (dessen Zusammensetzung also in runden Zahlen zu 83 Proc. Wismuth und 17 Proc. Schwefel angenommen werden kann) nach der Behandlung mit Chlorwasserstoffsäure einen 8,08 Proc. betragenden Rückstand von reinem schwefelfreien Wismuth, in Form federähnlicher metallglänzender Krystalle. Es waren demnach an jene 17 Proc. Schwefel nur $83 - 8,08 = 74,92$ Proc. Wismuth chemisch gebunden, was sehr nahe der Zusammensetzung des Wismuthglanzes entspricht (17 Theile Schwefel ge-

brau-

1) Gmelins Handb. II, 853.

brauchen zur Bildung von Dreifach-Schwefelwismuth genau 74 Theile Wismuth). Es dürfte dies Resultat ganz besonders geeignet seyn, der Formel $\text{BiS}_3 + x\text{Bi}$, als Ausdruck für die rationelle Zusammensetzung der fraglichen Substanz, zur Bestätigung zu dienen.

In Bezug auf die obigen Analysen verdient noch bemerkt zu werden, daß, ähnlich wie bei dem Producte der ersten Schmelzung, auch hier wieder ein Steigen des Wismuthgehaltes von den Rändern nach der Mitte zu sich zeigt, nur daß die Unterschiede erheblich geringer sind als dort und 1 Proc. nicht übersteigen. — Uebrigens findet dies Steigen des Wismuthgehaltes nicht nur in der Richtung von den Seiten nach der Mitte zu statt; auch in der Richtung von oben nach unten (durch die erstarrte Masse) wird dasselbe beobachtet. Als das zuletzt erhaltene Schmelzproduct für sich umgeschmolzen wurde, fanden sich in einer Probe (der schnell erstarrten Masse), die unmittelbar von der Oberfläche entnommen war, 83,43 Proc. Wismuth; in einer zweiten, aus der Mitte entnommenen (größtentheils Krystalle der Druse) 84,65 Proc. und endlich in einer Probe dicht vom Boden 90,23 Proc. Wismuth¹⁾. — Es wird weiter unten gezeigt werden, wie diese eigenthümliche Zunahme des Wismuthgehaltes in bestimmten Richtungen aus der mechanischen Einlagerung des Metalles in die Masse des Schwefelmetalles sich ungezwungen erklärt.

Verfährt man endlich zur Darstellung des Werther'schen Schwefelwismuths nach der von Berzelius (s. oben S. 406) angedeuteten Methode, indem man Dreifach-Schwefel-

1) Die Masse vom Boden enthielt demnach beträchtlich mehr Wismuth, als selbst der Zusammensetzung eines Sulfürs der Formel BiS_2 entsprechen würde und nahezu ebensoviel, wie das von Mather (s. oben) dargestellte Schwefelwismuth. Trotzdem zeigte sich dieselbe den von anderen Stellen entnommenen Proben äußerlich ganz ähnlich und ebenso gleichmäßig wie jene. Ich vermute, es ist eine solche Substanz gewesen, die Mather untersucht hat und es wird dies um so wahrscheinlicher, als M. die geschmolzene Masse ziemlich lange Zeit bei hoher Temperatur in Fluß erhielt, wobei jedenfalls ein großer Theil des Schwefels verflüchtigt wurde.

wismuth mit Wismuth (zu gleichen Theilen) zusammenschmilzt und das Metall vor dem gänzlichen Erstarren ausgießt, so erhält man zwar sehr schöne Krystalle in Form langer glänzender Nadeln, die indess, wie aus Folgendem erhellt, gleichfalls kein Wismuthsulfür (BiS_2) sind. Die Analyse dieser Krystalle, deren specifisches Gewicht (als Mittel aus mehreren Bestimmungen) zu 7,00 gefunden wurde, ergab nämlich Folgendes:

In 1,203 Grm derselben wurden gefunden:

1,022 Grm. . . .	= 84,95 Proc. Wismuth und
0,180 Grm. . . .	= 14,96 " Schwefel
	<hr/> 99,91.

Nach Hrn. G. Rose's Bestimmung hatten auch diese Krystalle die Form des Wismuthglanzes; auch zeigten dieselben gegen Chlorwasserstoffsäure ein den früheren ganz ähnliches Verhalten. 1,619 Grm. derselben hinterließen nach der Behandlung mit dieser Säure einen krystallinischen metallglänzenden Rückstand von reinem Wismuth, der 0,289 Grm. = 17,84 Proc. betrug. Es können also an jene gefundenen 14,95 Proc. Schwefel nur $84,95 - 17,94 = 67,11$ Proc. Wismuth wirklich chemisch gebunden gewesen seyn, — ein Verhältniß, das sich wieder der Zusammensetzung des Wismuthglanzes bis auf eine geringe Differenz nähert, da 14,95 Proc. Schwefel genau 64,83 Proc. Wismuth zur Bildung dieser Substanz gebrauchen. Die Differenz von 2,28 Proc. ($67,11 - 64,83$) dürfte aus der theilweisen Löslichkeit des Wismuths in Chlorwasserstoffsäure zu erklären seyn.

Also auch bei Befolgung dieser Methode, bei der man wegen des großen Ueberschusses an Wismuth am ehesten die Bildung einer niedrigeren Schwefelungsstufe erwarten sollte, wird eine solche nicht erhalten; was entsteht, ist allem Anschein nach auch hier nur Wismuthglanz, der in der Hitze eine gewisse Menge metallischen Wismuths aufgenommen hat und dasselbe nach dem Erkalten mechanisch einschließt. —

Dritte Versuchsreihe nebst Schlussbemerkungen.

Da nach den oben mitgetheilten Versuchen beim Zusammenschmelzen von Wismuth und Schwefel, selbst wenn von letzterem mehr angewandt wurde als zur Bildung von Dreifach-Schwefelwismuth nöthig gewesen wäre und obgleich die Schmelzungen bei gut schließendem Deckel ausgeführt wurden, Producte resultirten, in denen neben Wismuthglanz eine beträchtliche Menge von freiem Wismuth enthalten war und zwar umsomehr, je höher die Temperatur gesteigert wurde und je länger man dieselbe einwirken ließ, so schien es von Interesse und für die Beurtheilung der fraglichen Substanz von Wichtigkeit, zu ermitteln, in wie weit dem Dreifach-Schwefelwismuth durch Erhitzen bei Luftabschluß der Schwefel überhaupt entzogen werden könne.

Dafs natürliches Dreifach-Schwefelwismuth, in einer Röhre erhitzt, sublimirten Schwefel giebt, ist schon von Berzelius beobachtet worden. Künstliches (auf nassem Wege dargestelltes) Dreifach-Schwefelwismuth verhält sich ebenso; als solches in einer am einen Ende zugeschmolzenen Röhre aus starkem Glase unter Kohlensäure vor der Gebläselampe längere Zeit erhitzt wurde, entwich eine reichliche Menge von Schwefel und der Rückstand hinterließ bei der Behandlung mit Salzsäure eine bedeutende Menge metallisches Wismuth von krystallinisch-fasriger Beschaffenheit.

Die folgenden Versuche weisen nun aus, dafs diese Entziehung des Schwefels vollständig oder fast vollständig bewirkt werden kann, sobald man nur die Temperatur hoch genug steigert und dieselbe lange genug einwirken läßt. Zwei Proben des bei früheren Schmelzungen erhaltenen Schwefelwismuths, von denen die eine 83,43 Proc., die andere 90,23 Proc. Wismuth enthielt, wurden, auf einem Porzellanschiffchen in einer Porzellanröhre befindlich, eine jede 4 Stunden lang einer hohen, fast bis zur Weißglühhitze gesteigerten Temperatur ausgesetzt, während ein langsame Strom von trockener, durch glühendes Kupfer von

Luft gänzlich befreiter Kohlensäure darübergelitet wurde. Es entwich während der Operation eine beträchtliche Menge von Schwefel, gegen das Ende indess immer schwieriger; ein Auftreten von schwefligsaurem Gase konnte dabei nicht bemerkt werden. Nach dem Erkalten des Apparates fand sich nahe vor der Stelle, wo das Porzellanschiffchen gelegen hatte, ein unbedeutendes Sublimat von zarten federähnlichen Krystallen, die aus Dreifach-Schwefelwismuth bestanden. Es scheint hieraus zu folgen, daß das Dreifach-Schwefelwismuth in sehr hoher Temperatur etwas flüchtig ist. Auch der während des Versuches sublimirte Schwefel war, ohne Zweifel durch eine kleine Menge mitverflüchtigten Schwefelwismuths, etwas grau gefärbt. Der Inhalt des Porzellanschiffchens zeigte nach beendigter Operation nur noch an der äußersten Oberfläche das dem Wismuthglanze eigenthümliche krystallinisch-strahlige Gefüge; übrigens bot derselbe durch seine ganze Masse nur das Ansehen von reinem metallischen Wismuth; auch waren im Erstarrungsmomente Wismuthkugeln daraus hervorgedrungen. Die Analyse dieser Rückstände ergab, und zwar in der ersten Probe 98,24 Proc. Wismuth

und 1,76 " Schwefel (aus d. Verlust);
100,00

in der zweiten: 98,45 Proc. Wismuth

und 1,55 " Schwefel (aus d. Verlust)
100,00.

Diese Zahlen, weit entfernt, noch einem einfachen stöchiometrischen Verhältnisse zu entsprechen, beweisen, daß die untersuchten Substanzen, abgesehen von einer dem gefundenen Schwefelgehalte entsprechenden kleinen Menge von Dreifach-Schwefelwismuth, in der Hauptsache nur aus metallischem Wismuth bestanden. Ohne Zweifel hätte bei noch länger fortgesetztem Erhitzen und bei noch mehr gesteigerter Temperatur der Schwefel vollständig ausgetrieben werden können. — Das Schwefelwismuth gehört also zu denjenigen Schwefelmetallen, die in hoher Temperatur ihren Schwefelgehalt gänzlich oder fast gänzlich ab-

geben, — ein Verhalten, das, soviel ich weiß, bisher nur beim Schwefelgolde und Schwefeltellur beobachtet worden ist.

Nach diesen Versuchen kann es denn nichts Befremdliches mehr haben, wenn auch beim Zusammenschmelzen von Wismuth und Schwefel in hoher Temperatur einem Theile des anfänglich gebildeten Dreifach-Schwefelwismuths Schwefel entzogen und eine dem entsprechende Menge metallischen Wismuths ausgeschieden wird, welches sich nun dem unveränderten Dreifach-Schwefelwismuth beimischt. Diese Wismuthmenge wird natürlich in demselben Verhältniß zunehmen müssen, als die Temperatur beim Zusammenschmelzen gesteigert und die Einwirkung derselben verlängert wird ¹⁾).

Es fragt sich nun, in welchem Zustande dieß außer chemischer Verbindung befindliche Wismuth neben dem Schwefelwismuth vorhanden ist, während sich die Masse im feurigen Fluß befindet. Nach Berzelius ²⁾ vermag Dreifach-Schwefelantimon bei höherer Temperatur bis 13½ Proc. metallisches Antimon aufzulösen, welches bei der Digestion des Schwefelantimons mit Salzsäure »in federähnlichen Krystallen« ungelöst abgeschieden wird. — Es ist sehr wohl denkbar, daß zwischen Dreifach-Schwefelwismuth und metallischem Wismuth ein ähnliches Verhalten

- 1) Hieraus widerlegt sich denn auch wohl die Ansicht, die Marx (Schweigg. Journal, 59, 114) über das beim jedesmaligen Umschmelzen des künstlichen Schwefelwismuths aus der erstarrten Masse hervordringende Wismuth ausgesprochen hat. Marx sagt darüber wörtlich: »Dieses ist bei fortgesetztem Umschmelzen immer mehr der Fall. Es verdient dieß Phänomen gewiß alle Aufmerksamkeit, denn es scheint anzuzeigen, daß das große Bestreben des Wismuths sich beim Erstarren auszudehnen, den chemischen Zusammenhang mit dem Schwefel aufzuheben vermöchte!« Weit einfacher und natürlicher erklärt sich die Erscheinung daraus, daß das Schwefelwismuth, je öfter es umgeschmolzen wird, desto mehr Schwefel verliert, und daß das freigewordene metallische Wismuth sich im Erstarrungsmomente ausdehnt. Keinenfalls kommt dem Schwefelwismuth (BiS^3) als solchem die Eigenschaft zu, beim Erstarren metallisches Wismuth auszugeben.

- 2) Poggend. Annalen, 37, 195.

stattfindet, daß jenes bei höherer Temperatur eine gewisse Menge des letzteren in Auflösung zu erhalten vermag; ja die Art und Weise, wie sich das Metall nach dem Erstarren durch die Masse des Schwefelmetalles vertheilt findet, macht es sogar sehr wahrscheinlich, daß jenes in der zuvor feurig-flüssigen Masse im Zustande der Auflösung vorhanden gewesen ist.

Beim Erkalten einer solchen Auflösung von Wismuth in Schwefelwismuth, das natürlich von den äußeren Schichten (d. h. von der Oberfläche und den den Wänden des Tiegels zunächst gelegenen Theilen) allmählich nach dem Inneren fortschreitet, wirken gewissermaßen zwei Kräfte, welche die Art der Vertheilung des Wismuths durch die Masse des Schwefelwismuths bedingen.

Eine jede krystallisirbare Substanz hat ohne Zweifel das Streben, bei ihrer Krystallisation alles Fremdartige aus ihrer Masse möglichst auszuschcheiden und es wird diese Ausscheidung um so vollständiger bewirkt werden, je längere Zeit darauf verwendet werden kann. Fehlt diese oder wird sie verkürzt, so wird auch in demselben Maasse mehr oder weniger der fremdartigen Stoffe von der krystallisirenden Substanz eingeschlossen. Es ist bekannt, daß von Salzen, die aus concentrirten Lösungen anschiesse, je nachdem sie schnell oder langsam krystallisiren, mehr oder weniger Mutterlauge eingeschlossen wird. — Jenes exclusive Streben äußert nun sehr wahrscheinlich auch das Schwefelwismuth, indem es aus dem geschmolzenen Zustande in den krystallisirten übergeht, auf das neben ihm in Lösung befindliche metallische Wismuth, und zwar wird, da die Erkaltung, folglich auch die Krystallisation des Schwefelwismuths, in den äußeren Schichten der geschmolzenen Masse beginnt, auch zuerst hier das Wismuth ausgeschieden und von da in die inneren noch flüssigen Partien zurückgedrängt werden. Wegen der Schnelligkeit des Erkaltes kann indess diese Ausscheidung nicht wohl eine vollständige seyn: ein Theil des Wismuths wird von dem Erstarrungsmomente des Schwefel-

wismuths ereilt und nun von diesem letzteren gleichsam hüllenartig umschlossen werden. Es mag sich hieraus erklären, weshalb selbst in den dem äußersten Rande entnommenen Proben (s. oben) ein etwas höherer Wismuthgehalt gefunden wurde, als solcher dem Dreifach-Schwefelwismuth zukommt. — Bei fortgesetztem Erkalten wird sich dieser Proceß schichtenweise nach dem Inneren zu wiederholen, es wird nach der Mitte zu immer mehr Wismuth angehäuft, folglich auch immer mehr eingeschlossen werden, am Meisten endlich von dem zuletzt, d. h. im innersten Kern krystallisirenden Schwefelwismuth. Dieser innerste Kern ist aber die Stelle, wo sich bei den verschiedenen Schmelzungen die mit deutlichen Krystallen erfüllte Druse vorfand. Es erklärt sich aus dem Vorstehenden, weshalb in diesen Krystallen stets ein bedeutend höherer Wismuthgehalt gefunden wurde als in den Proben vom äußeren Rande.

Außer in der Richtung von den Seiten nach der Mitte wurde aber bei den oben erwähnten Versuchen ein Steigen des Wismuthgehaltes in der Richtung von oben nach unten beobachtet. Die Kraft, die das Steigen in dieser Richtung bedingt, ist ohne Zweifel die Schwere. Wenn während des Erstarrens das Wismuth in die innere noch flüssige Masse zurückgedrängt wird, so muß sich die Menge desselben hier allmählig so anhäufen, daß es nicht mehr, oder doch nur noch theilweise, in Lösung erhalten werden kann; offenbar wird es dann, seiner Schwere folgend, sich nach dem Boden hinsinken, um von dem hier krystallisirenden Schwefelwismuth mechanisch eingeschlossen zu werden ¹⁾.

- 1) Es verdient an dieser Stelle beiläufig darauf aufmerksam gemacht zu werden, daß hinsichtlich der Anordnung von weißer und gelber Bronze im Innern eines bronzenen Geschützes (während des Erstarrens) ähnliche Verhältnisse stattfinden. Dem specifisch schwereren und zugleich leichter schmelzbaren Wismuth entspricht hier die weiße, der Hauptmasse des leichteren und schwerer schmelzbaren Schwefelwismuths die sogenannte gelbe Bronze (oder die Hauptmasse des Kupfers): — es ist erfahrungsmäßig, daß die weiße Bronze von den Wänden des Ge-

Dafs nirgends in der erstarrten Masse, selbst nicht in den tiefstgelegenen Partien derselben, in denen die Analyse (s. oben S. 417) einen so hohen Wismuthgehalt nachweist, das mechanisch eingeschlossene Metall (selbst mit bewaffnetem Auge nicht) bemerkt und vom Schwefelwismuth unterschieden werden kann, beruht theils auf der Aehnlichkeit von Wismuth und Schwefelwismuth in Glanz und Farbe, theils und hauptsächlich auf der innigen Durcheinanderlagerung beider, wie solche durch die Schnelligkeit des Erkaltes bedingt wird. Es ist schon früher unter ähnlichen Umständen Aehnliches beobachtet worden. Berzelius ¹⁾ sagt von dem in Schwefelantimon gelösten Antimon: »bei einer raschen Erkaltung gesteht die ganze Lösung und die Masse sieht dann *gleichmäfsig im Bruche* aus.«

So erklärt sich die Ungleichmäfsigkeit in der Zusammensetzung des fraglichen Schwefelwismuths, die auf den ersten Blick so viel Befremdliches hat, ganz einfach aus der mechanischen Einlagerung von metallischem Wismuth in die Masse desselben. Hiernach und nach den Ergebnissen der oben (S. 410—418) mitgetheilten Analysen darf denn wohl die Formel $\text{BiS}^3 + x\text{Bi}$ als der richtige Ausdruck für die rationelle Zusammensetzung dieses Schwefelwismuths angesehen werden.

Diese Formel hebt zugleich den oben (S. 408) erwähnten Widerspruch zwischen Krystallform und Zusammensetzung auf, — sie befindet sich in Uebereinstimmung mit der von Hrn. G. Rose festgestellten Form des fraglichen Schwefelwismuths. Denn dafs das Schwefelwismuth trotz des darin eingelagerten metallischen Wismuths sich in der ihm eigenthümlichen Krystallform entwickelt, kann, da dasselbe (als schwerer schmelzbare Masse) eher erstarrt

schützes nach der Mitte desselben, ausserdem aber in der Richtung von oben nach unten sich besonders anhäuft, so dafs also die grösste Menge derselben in der Axe des Geschützes und im Bodenstück desselben vorhanden ist.

1) Poggend. Annalen, 37, 165.

und krystallisirt als das Metall, nicht befremden; man kann sich vorstellen, daß das feste Gefüge des Schwefelwismuthkrystalles schon gebildet ist, wenn der Erstarrungsmoment für das innerhalb desselben befindliche Metall eintritt: diesem letzteren, ohne daß es im Stande wäre; an der bereits fertigen Form des Schwefelwismuths noch etwas Wesentliches zu ändern, bleibt nichts übrig, als sich innerhalb jenes so anzuordnen, wie es ihm die jedesmaligen Umstände gestatten. Manche analoge Beispiele sprechen für die Richtigkeit dieser Ansicht. In der Tendenz eines Salzes, die ihm eigenthümliche Krystallform anzunehmen, wird durch die etwa eingeschlossene Mutterlauge in keinem Falle etwas geändert. — Die Mineralogie kennt mehr denn eine Substanz, die ihre eigenthümliche Krystallform unverändert beibehält, obgleich nicht unbedeutende Mengen fremdartiger (selbst amorpher) Stoffe im Inneren der Krystalle mechanisch eingeschlossen sind. Ich erinnere beispielsweise an den Bergkrystall und Chialolith.

Was endlich noch zu Gunsten der Formel $BiS^3 + xBi$ spricht, ist der Umstand, daß sich aus derselben die Abweichungen, die Werther an seinem Schwefelwismuth, verglichen mit dem Wismuthglanz, beobachtete, ziemlich ungezwungen erklären.

1. Was zunächst das specifische Gewicht betrifft, so hat Werther das seiner Krystalle zu 7,29 gefunden, also bedeutend höher als das des Wismuthglanzes (6,5). Offenbar muß aber auch, wenn dem Wismuthglanz Wismuth mechanisch beigemischt ist, das specifische Gewicht desselben hinaufgerückt werden. Die obigen Versuche beweisen, daß dies in demselben Verhältniß geschieht, als der Gehalt an Wismuth sich steigert. Die Krystalle, aus denen am meisten metallisches Wismuth abgeschieden wurde und die in ihrer Zusammensetzung den Werther'schen am nächsten stehen (s. oben S. 410), zeigten ein specifisches Gewicht von 7,10; die hingegen, aus denen am wenigsten Wismuth abgeschieden wurde (s. oben S. 415 u. 16), zeigten auch

das niedrigste specifische Gewicht, nämlich nur 6,81. — Zu denselben Zahlen führt, beiläufig bemerkt, auch die Rechnung. Da die ersteren Krystalle 20 Proc. metallisches Wismuth enthalten, also nur zu $\frac{4}{5}$ aus Wismuthglanz und zu $\frac{1}{5}$ aus Wismuth bestehen, so hat man (das specifische Gewicht des Wismuthglanzes zu 6,5, das des Wismuths zu 9,8 angenommen): $\frac{4 \times 6,5 + 1 \times 9,8}{5} = 7,16$ (7,10 wurden gefunden). Im zweiten Falle hat man etwa: $\frac{10 \times 6,5 + 1 \times 9,8}{11} = 6,80$ (6,81 gefunden).

2. Ferner hat Werther an seinem Schwefelwismuth eine hellere Farbe und lebhafteren Glanz beobachtet als am Wismuthglanz. Ich habe in dieser Beziehung keinen erheblichen Unterschied bemerken können: die Farbe schien mir in beiden Fällen licht bleigrau und der Glanz lebhafter Metallglanz zu seyn. Wohl denkbar übrigens, daß dem Schwefelwismuth durch eine beträchtliche Menge darin eingelagerten Wismuths unter Umständen ein etwas hellerer Farbenton mitgetheilt werden kann.

3. Ein fernerer Unterschied zwischen dem Werther'schen Schwefelwismuth und dem Wismuthglanz soll darin bestehen, daß jenes bei niedrigerer Temperatur schmilzt als dieser und in der zugeschmolzenen Glasröhre erhitzt kein Sublimat von Schwefel giebt bei einer Temperatur, bei welcher vom Wismuthglanze ein solches in reichlicher Menge ausgegeben wird. Beide Beobachtungen sind gewiß richtig, doch erklären sich die Abweichungen sehr wohl aus dem Vorhandenseyn von metallischem Wismuth neben dem Schwefelwismuth. Daß durch einen bedeutenden Gehalt an metallischem Wismuth der Schmelzpunkt des Schwefelwismuths herabgedrückt werden könne darf, glaube ich, mit einiger Wahrscheinlichkeit angenommen werden; daß aber Dreifach-Schwefelwismuth von normaler Zusammensetzung (Wismuthglanz) bei niedrigerer Temperatur Schwefel abgiebt als ein nach Werther's Methode dargestelltes Schwefelwismuth, hat durchaus nichts Befremdliches: der

Wismuthglanz verliert nach meinen Versuchen schon Schwefel *unter* der Temperatur, welcher das Werther'sche Schwefelwismuth bei seiner Darstellung ausgesetzt wurde; dieses letztere kann offenbar erst bei oder *über* dieser Temperatur einen Verlust an Schwefel erleiden.

4. Betreffs des Unterschiedes endlich, der zwischen der Krystallform des Werther'schen Schwefel-Wismuths und der des Wismuthglanzes beobachtet worden ist, verweise ich auf die voranstehende Abhandlung des Hrn. G. Rose, aus welcher hervorgeht, daß ein solcher Unterschied in der That nicht besteht, — daß vielmehr die von Werther (wie auch die von mir) erhaltenen Krystalle in ihrer Form mit dem Wismuthglanze übereinstimmen.

Aus diesem Allen glaube ich denn den Schluß ziehen zu dürfen, daß das nach Werther's Methode dargestellte Schwefelwismuth nicht wirklich aus Wismuthsulfuret (BiS_2) besteht, daß dasselbe vielmehr als ein inniges mechanisches Gemenge von Dreifach-Schwefelwismuth mit metallischem Wismuth anzusehen ist. — Darüber, ob die Verbindung BiS_2 auf nassem Wege hervorgebracht werden kann, wage ich, obgleich vorläufige Versuche es mir wahrscheinlich machen, noch nicht mit Bestimmtheit zu entscheiden.

Berlin, im Februar 1854.

VI. *Ueber die Gesetze der Entwicklung von Wärme und mechanischer Kraft durch den Schließungsdraht der galvanischen Kette; von J. H. Koosen.*

Wenn man von der jetzt ziemlich allgemein angenommenen Ansicht ausgeht, daß jede Wärmemenge als ein Aequivalent mechanischer Kraft betrachtet werden müsse, und wenn man diese Betrachtungsweise mit den bekannten Gesetzen der Wärmeentwicklung im Schließungsdrahte

der galvanischen Kette und mit dem Gesetze der Kraftentwicklung in den elektromagnetischen Maschinen verbindet, so ergibt sich hieraus eine Reihe scheinbar paradoxer Folgerungen, welche uns zu dem Schlusse nöthigen, daß die chemische Action in der Batterie nicht aequivalent und proportional dem gesammten mechanischen Effecte in der ganzen Schließung seyn könne, — ein Schluss, der mit allgemeinen Naturgesetzen in Widerspruch steht und eine Production von mechanischer Arbeit ohne entsprechende Kraftconsumtion voraussetzen würde.

Zunächst gehört hierher die merkwürdige Erscheinung, daß, wenn man die galvanische Combination in einer Batterie ändert, die Wärmeproduction in der Gesamtschließung im quadratischen Verhältnisse der Stromstärke oder der elektromotorischen Kraft variirt, während der chemische Effect in der Batterie, d. h. die Quantität des aufgelösten Zinks, in einfachem Verhältnisse zu der elektromotorischen Differenz der beiden Metalle steht; es würde also die Einführung eines mehr elektronegativen Metalles eine größere Entwicklung mechanischer Kraft in der Gesamtschließung veranlassen, ohne vermehrte chemische Action, indem das elektronegative Metall nicht die geringste Aenderung erleidet, jener Kraftüberschuß müßte also aus Nichts hervorgebracht seyn. Ferner ist bekannt, daß, wenn eine elektromagnetische Maschine sich mit constanter Geschwindigkeit dreht, ihr mechanischer Effect proportional der anziehenden Kraft der Eisenstäbe, d. h. proportional dem Quadrate des Magnetismus derselben und also auch des Batteriestromes wächst, daß mithin die Veränderung der elektromotorischen Differenz in der Batterie durch Vertauschung des elektronegativen Metalles eine Aenderung in der Kraftentwicklung hervorruft, der keine aequivalente Aenderung in der chemischen Action entspricht.

Wenn eine elektromagnetische Maschine in Bewegung ist, so nimmt in Folge der eintretenden secundären Ströme der Strom in der Batterie, mithin auch die chemische Action ab; dem durch die Maschine erzeugten mechanischen Effecte

scheint also nicht, wie man erwarten dürfte, eine Zunahme der chemischen Action in der Batterie zu entsprechen, sondern vielmehr eine Verminderung derselben. Mit dieser Erscheinung hat sich schon Joule beschäftigt und darauf aufmerksam gemacht, daß auch bei diesen Maschinen, selbst während ihrer Bewegung, die Hauptwirkung des Stromes in der Erwärmung des Schließungsdrahtes bestehe, daß daher, sobald Bewegung eintritt und außer dieser Erwärmung noch mechanische Kraft hervorgebracht wird, die letztere ein Aequivalent für die mehr consumirte chemische Action sey; denn da die Wärmeentwicklung im quadratischen Verhältnisse, die chemische Action aber in einfachem Verhältnisse der Stromstärke wächst, so wird durch eine Verminderung der letzteren während der Bewegung der Maschine und mittelst der durch diese Bewegung hervorgerufenen secundären Ströme, die chemische Action *caeteris paribus*, d. h. im Vergleiche zur gleichzeitigen Wärmeentwicklung, *vermehrt*, und diesen mit der Bewegung entstehenden Ueberschuß der chemischen Wirkung glaubt Joule als das Aequivalent des durch die Maschine hervorgebrachten mechanischen Effectes betrachten zu müssen; allein die von Joule angestellten Beobachtungen stimmen nicht mit der Theorie und die bei elektromagnetischen Maschinen in Bewegung stattfindende große Verminderung des Batteriestromes kann keineswegs als Folge der Entwicklung mechanischer Kraft und als Aequivalent für diese angesehen werden, sondern sie hat, wie wir unten sehen werden, einen andern Grund.

Wäre die Ansicht von Joule richtig, so müßte, wenn durch Anwendung äußerer Kraft die Maschine mit derselben Geschwindigkeit rückwärts gedreht wird, die Tangentenbussole hier eine gleich große *Vermehrung* des Batteriestromes, als im ersten Falle die Verminderung betrug, anzeigen, indem dann noch ein gleiches Quantum äußerer mechanischer Kraft, als dort von der Maschine hervorgebracht wurde, hier consumirt wird; dieß ist jedoch, wie man sich leicht durch einen Versuch überzeugen kann,

nicht der Fall; vielmehr tritt, wenn die Maschine gewaltsam mit derselben Geschwindigkeit rückwärts gedreht wird, ebenfalls eine Verminderung des Batteriestromes ein, obwohl diese nicht ganz so groß ist, wie im ersten Falle.

Ich werde nun im Nachstehenden zu zeigen versuchen, daß alle angeführten Phänomene, wie paradox sie auch auf den ersten Anblick erscheinen mögen, sich in der That alle auf das Grundgesetz der galvanischen Kette, *daß die chemische Action in derselben immer aequivalent und proportional der Summe der in der Gesamtschließung frei werdenden mechanischen Effecte ist*, zurückführen lassen, welcherlei Modificationen die Phänomene auch unterworfen seyn mögen; hiebei versteht sich, daß die Wärmeentwicklung im Schließungsdrahte als eine Entwicklung rein mechanischer Kraft aufzufassen ist, indem ja vermöge des bekannten mechanischen Aequivalents der Wärme die Eine auf die Andere reducirt werden kann. Der strenge Nachweis des zwischen den chemischen und mechanischen Wirkungen der Kette stattfindenden Gleichgewichts wird uns dann nothwendigerweise zu Schlüssen über die Natur der elektromotorischen Thätigkeit der Metalle in der Batterie und über das Verhältniß der elektromotorischen Kräfte zu den chemischen führen, welche von den bisher angenommenen Ansichten zum Theil abweichen; ebenso werden wir Aufschlüsse über das Wesen der galvanischen Polarisation erhalten, welche zeigen, daß die von dieser abhängenden Phänomene keineswegs, wie gewöhnlich geschieht, allein durch Aenderungen in der Größe der elektromotorischen Kraft zu erklären sind.

Zunächst ist zu bemerken, daß in allen Fällen, wo mechanische Kraft durch den galvanischen Strom hervorgebracht wird, oder wo überhaupt nicht die ganze durch die chemische Action frei gewordene Kraft im Hauptschließungsdrahte als Wärme entwickelt wird, dieß nur durch Vermittelung secundärer inducirter Ströme geschieht, die entweder im Hauptdrahte selbst oder in Nebendrähten auftreten; das Gesetz der Induction muß daher den Schlüssel

zu allen hieher gehörenden Erscheinungen geben. Die mathematische Einführung des durch die Erfahrung bekannten Inductionsgesetzes in die verschiedenen eben erwähnten Phänomene wird uns daher Werthe für die in der gesamten Schließung der galvanischen Kette so wie in etwaigen Nebendräthen freiwerdenden mechanischen Kräfte geben und es wird sich zeigen, daß die Summe dieser Kräfte bei gleicher chemischer Action immer dieselbe ist, daß also wirklich das Gleichgewicht der chemischen und mechanischen Vorgänge in der Kette ein unumgängliches Grundgesetz ist; ebenso werden wir umgekehrt im Stande seyn, wenn wir *a priori* das Bestehen dieses Naturgesetzes annehmen, die Beschaffenheit der Inductionsgesetze daraus abzuleiten. Aus diesem Gesichtspunkte werde ich im Folgenden die Grundphänomene, auf welche sich alle übrigen Fälle, in welchen durch den galvanischen Strom Wärme und mechanische Kraft entwickelt wird, zurückführen lassen, behandeln.

Denken wir uns zuerst, daß ein Stahlmagnet, dessen Magnetismus μ sey, mit einer gewissen Geschwindigkeit in eine senkrecht gestellte Spirale von Kupferdraht hineinbewegt werde, so wird diese Bewegung in jedem noch so kleinen Zeittheile, wenn die Enden der Spirale miteinander verknüpft sind, eine elektromotorische Kraft $\mu\alpha$ erzeugen, proportional dem Magnetismus des Stahlmagnets. Wenn nun der Nordpol des Stahlmagneten nach unten gerichtet ist, so bestimmt das bekannte Inductionsgesetz, daß der durch die Bewegung in der Spirale inducirte Strom eine solche Richtung habe, daß das obere Ende der Spirale nordpolarisch, das untere südpolarisirt magnetisirt wird. Spirale und Magnet werden sich in allen Zeitpunkten ihrer gegenseitigen Annäherung vermöge der erregten Magnetisirung der Spirale abstoßen; es muß also eine gewisse Kraft consumirt werden, um den Stahlmagnet bis in die Mitte der Spirale hinunterzudrücken; diese Kraft ist gleich und aequivalent der durch den inducirten Strom während der Bewegung hervorgebrachten Erwärmung des Schlie-

fsungsdrahtes. Wird der Stahlmagnet mit dem Südpole nach unten in die Spirale eingeführt, so hat zwar der erregte Strom die entgegengesetzte Richtung, die Wärmerregung und der zu überwindende Widerstand bei Einführung des Magnets sind aber ganz dieselben wie vorhin; dasselbe findet statt, wenn der Magnet nach irgend einer Seite hin wieder aus der Spirale herausgezogen wird; nie kann nach dem Inductionsgesetze eine solche Richtung des inducirten Stromes eintreten, daß die einander zugekehrten Enden des Stahlmagnets und der Spirale ungleichnamigen Magnetismus erhalten; es muß also jede Bewegung beider äußere Kraft consumiren, welche dann in demselben Augenblicke wieder durch den entstehenden Inductionsstrom, welche Richtung derselbe auch haben mag, als Wärme hervorgebracht wird. Wird statt des ersten Stahlmagnets ein anderer genommen, der den Magnetismus μ_1 hat, so wird nach den bekannten Gesetzen die durch die Einführung des letzteren in die Spirale zwischen beiden erregte abstossende Kraft sich zu der früheren Abstossung wie μ_1^2 zu μ^2 verhalten; da aber die elektromotorischen Kräfte der in beiden Fällen inducirten Ströme sich wie μ_1 zu μ verhalten, so stehen auch nach dem bekannten Erwärmungsgesetze die frei werdenden Wärmemengen im Verhältnisse der Quadrate der Magnetismen der Stahlstäbe. Das Gleichgewicht zwischen der als Wärme frei werdenden mechanischen Kraft und der von aussen angewandten Arbeit bleibt daher für jeden Werth der magnetischen Intensität bestehen. Umgekehrt können wir von diesem Gesetze des Gleichgewichtes, *a priori* ausgehend, schliessen, daß, wenn überhaupt bei Einführung eines Stahlmagneten in eine geschlossene Spirale ein Strom entsteht, dieser seiner Gröfse und Richtung nach vollkommen durch die Polarität und Stärke des eingeführten Magnetpoles bestimmt sey, und es ergeben sich daraus von selbst alle Einzelheiten des Inductionsgesetzes.

Obwohl nun in dem eben gegebenen Beispiele die verbrauchte wie die frei werdende mechanische Kraft in allen Fäl-

Fällen so klein ist, daß an einen strengen experimentellen Nachweis ihrer Identität nicht gedacht werden kann, so hat es doch keine Schwierigkeit durch das Experiment nachzuweisen, daß in dem gegebenen Falle wirklich eine Erwärmung des Drahtes stattfindet, daß diese Erwärmung dieselbe GröÙe hat, mit welchem Pole der Magnet auch in die Spirale eingeführt wird, welche Richtung also der inducirte Strom auch hat, und endlich, daß bei alternirenden Strömen, wie schnell sie auch aufeinander folgen mögen, die Wärmeeffecte sich, wie zu erwarten stand, immer addiren; es ist dies letztere schon bedingt durch das quadratische Verhältniß, in welchem die Wärmeerregung zur Stromstärke steht, wodurch jene immer unabhängig von dem Vorzeichen d. h. der Richtung des Stromes bleibt.

Ich bediente mich zu diesen Versuchen eines von Hrn. Kleiner zu Berlin nach Riefs gefertigten Luftthermometers; der ursprünglich in der Kugel desselben befindliche Platindraht wurde mit einem 8 Fufs langen sehr dünnen und zu einer engen Spirale aufgewickelten Platinfaden vertauscht, so daß ich wegen des großen Widerstandes, welchen dieser Draht darbot, annehmen durfte, daß immer nahezu die ganze in der Schließung erregte Wärmemenge innerhalb der Thermometerkugel frei wurde. Wurden nun die Enden einer aus einer großen Anzahl von Windungen feinen Kupferdrahtes bestehenden Spirale mit dem Platindrahte des Thermometers verbunden, so bewirkte die Einführung eines starken Magneten in die Spirale eine plötzliche Verschiebung der Flüssigkeitssäule des Thermometers um mehrere Scalentheile; dieselbe Verschiebung entstand, wenn der Magnet aus der Spirale entfernt wurde, und unabhängig von der Lage der Magnetpole; wurde der Magnet schnell und wiederholt heraus und hineingezogen, so nahm die Erwärmung in der Thermometerkugel fortwährend zu und es konnte die Flüssigkeitssäule des Thermometers bis zu jedem beliebigen Punkte der Scale herabgedrückt werden. Um die Wirkung sehr schnell alternirender inducirter Ströme zu beobachten, verband ich

die Enden des Platindrahtes mit den Enden der dünnen äusseren Spirale eines kleinen Erschütterungsapparates, in welchem der Hauptstrom in einer inneren Spirale durch ein einziges Grove'sches Element erregt und in der bekannten selbstwirkenden Weise fortwährend unterbrochen und geschlossen wurde. Schon die leere Spirale gab eine bedeutende Verschiebung der Flüssigkeitssäule im Thermometer zu erkennen, die nur allmählig durch die fortwährende Erkaltung der Thermometerkugel ihre Gränze erreichte. Wurde aber ein Bündel weicher Eisendrähte in die Spirale gelegt, so warf die Wärmeentwicklung sogleich die ganze Flüssigkeitssäule aus der horizontalen Thermometerröhre hinaus und kam erst zum Gleichgewichte, nachdem so viel Flüssigkeit in den kürzeren Schenkel des Thermometers nachgegossen worden, daß diese hier Einen Zoll höher stand als vorhin; durch die Wirkung des Inductionsstromes wurde also die Spannung der Luft in der Thermometerkugel so vermehrt, daß sie einer Alkoholsäule von 1 Zoll Höhe das Gleichgewicht hielt. Der Strom war übrigens nicht so stark, als daß er nicht recht gut ertragen werden konnte, wenn er mittelst Handhaben durch den Körper ging. Eine so große mechanische Kraft vermag also der alternirende Strom des Erschütterungsapparates zu erregen, obwohl derselbe keine Wirkung auf die Magnetnadel hat, noch einen chemischen Effect auszuüben vermag und bisher nur durch seine physiologischen Wirkungen bekannt war.

Ich gehe jetzt zu einem anderen Inductionsphänomen über, in welchem sich aus dem Gesetze der Induction die Gröfsen der consumirten und der freiwerdenden mechanischen Kräfte mathematisch bestimmen lassen und ihre Gleichheit genau nachweisbar ist. Wenn eine galvanische Batterie durch einen geraden Draht geschlossen ist, so cirkulirt vom Augenblicke der Schließung an bis zum Augenblicke der Stromunterbrechung in dem ganzen Schließungskreise ein Strom von immer gleicher Stärke J , wenn die elektromotorische Kraft der Batterie, so wie der Widerstand

in der ganzen Schließung als constant angenommen wird. Nennen wir Z die Menge Zink, welche in dieser Batterie und durch die gegebene Schließung derselben in der Zeiteinheit durch die Einheit des Stromes gelöst wird, so ist nach dem Grundgesetze der Elektrolyse ZJ die von dem Strome J in der Zeiteinheit gelöste Zinkmenge. Nennen wir ferner w die in der ganzen Schließung sowohl im Drahte wie in der Batterie durch die Einheit des Stromes in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge, so ist wJ^2 die in derselben Zeit durch den Strom J entwickelte Gesamtwärme, und wenn a das mechanische Aequivalent der Wärme bezeichnet, dann ist $aw.J^2$ die durch den Strom J in der Zeiteinheit hervorgebrachte Wärme, reducirt auf mechanische Krafteinheiten. Es ist aber klar, daß in n -Zeiteinheiten die Menge des gelösten Zinkes wie die Gröfse der in demselben Zeitraume hervorgebrachten Arbeit sich ebenfalls ver- n -fachen wird, daß daher beide Quantitäten einander aequivalent und proportional seyn müssen; der Quotient $\frac{awJ^2}{ZJ} = \frac{awJ}{Z}$ stellt daher das mechanische Aequivalent der Gewichtseinheit des in der gegebenen Batterie gelösten Zinkes dar; diese Gröfse muß der Natur der Sache nach eine constante seyn; da sie aber dennoch den Factor J enthält, so folgt hieraus, daß die Stromstärke J selbst constant bleiben muß, so lange als sämtliche fre werdende Kraft in dem Schließungsdrahte selbst und als Wärme entwickelt wird; umgekehrt muß daher auch in allen Fällen, wo bei constantem Leitungswiderstande und bei constanter elektromotorischer Kraft der Batterie durch irgend welche äußere Ursachen die Stromstärke J verändert wird und in i übergeht, außer der durch diesen Strom i entwickelten Wärme awi^2 noch eine andere Kraftgröfse A entwickelt werden, welche zur Wärmeentwicklung $a.w.i^2$ addirt und durch den Zinkverbrauch Zi dividirt, wiederum den constanten Quotienten $\frac{awJ}{Z}$ giebt; diese Kraft A ist also $= a.w.(J-i)i$; sie verschwindet

also in solchen Fällen in der bisherigen Gestalt als Erwärmung des Schließungsdrahtes; sie muß aber in allen Fällen in einer andern Form entwickelt und als solche nachweisbar seyn, nämlich entweder als Magnetisirung weichen Eisens (von welchem Vorgange ich unten nachweisen werde, daß derselbe immer eine Consumption mechanischer Kraft voraussetzt, die bei der Entmagnetisirung des Eisens wieder frei wird), oder als inducirter Strom in Nebenschließungen, oder als Ueberwindung äußerer Widerstände und Kräfte in der elektromagnetischen Maschine, oder endlich als chemische Kraft in der Zersetzungszelle. Die ganze GröÙe der innerhalb eines bestimmten Zeitraumes t in anderer Form als in Erwärmung des Schließungsdrahtes freiwerdende Kraft kann durch $a.w(J-i)i.t$ dargestellt werden oder wenn i als Function der Zeit t veränderlich ist durch $a.w \int_0^t (J-i)i.dt$.

So lange die Batterie durch einen geraden Leitungsdraht geschlossen ist, cirkulirt vom Augenblicke der Schließung bis zur Stromunterbrechung in jedem Zeitpunkte der Strom J in seiner ganzen Stärke und entwickelt in jeder Zeiteinheit die Kraft $a.w.J^2$ in Form von Wärme. Wird aber die Batterie durch einen Draht geschlossen, der zwar denselben Leitungswiderstand wie vorhin darbietet, jedoch in Form einer Spirale von vielen Windungen aufgewickelt ist, die einen Kern weichen Eisens einschließen, so habe ich bei einer früheren Gelegenheit (Bd. 87, S. 514 dieser Annalen) nachgewiesen, daß vom Augenblicke der Schließungen der Strom J nicht in seiner ganzen Stärke cirkulirt, sondern vermöge des entstehenden Anfangsgegenstromes erst allmählig und nach einem logarithmischen Gesetze jenen Endwerth erreicht und daß die bis dahin stattfindende Stromstärke i nach den In-

ductionsgesetzen durch den Ausdruck $i = J - J.e^{-\frac{t}{\mu}}$ dargestellt werden kann, wo μ die magnetische Inductionsconstante bezeichnet, welche von der Anzahl und Form

der Windungen und von der Beschaffenheit des Eisenkerns abhängt.

Unserer obigen Betrachtung zufolge muß daher, wenn der Strom i seinen Endwerth J erreicht hat, ein Quantum mechanischer Kraft verschwunden, d. h. in einer andern Form als in Erwärmung des Schließungsdrahtes frei geworden seyn; diese Kraftmenge wird hier durch $aw \int_0^{\infty} (J - i) i dt$

dargestellt und als ihr Werth ergibt sich, wenn der obige transcendente Ausdruck für i eingesetzt und integrirt wird, unter Berücksichtigung, daß für $t=0$ auch die verschwundene Kraft $=0$ ist, die GröÙe $\frac{1}{2} a.w.\mu.J^2$; dieser Kraftwerth kann nur dazu angewandt seyn, den Eisenkern und die Spirale zu magnetisiren, da in dem ganzen Schließungskreise des Stromes auÙer der Erwärmung keine andern Kraftwirkungen stattfinden; das Eisen muß also im magnetischen Zustande eine gröÙere Summe lebendiger Kraft enthalten als im unmagnetischen Zustande, es muß also auch bei der Entmagnetisirung des Eisens die KraftgröÙe $\frac{1}{2} a.w.\mu.J^2$ wieder frei werden; dies geschieht in der That bei der Stromunterbrechung vermittelt des Extracurrents. Wird nämlich, nachdem die Stromstärke i ihren Endwerth J erreicht hat, der Batteriestrom unterbrochen, ohne daß die Leitung selbst unterbrochen, noch der Leitungswiderstand verändert wird, indem nämlich bei Ausschaltung der Batterie die Spirale noch durch einen andern Draht von dem Leitungswiderstande der Batterie geschlossen bleibt, so entsteht ein Endgegenstrom i_1 , welcher, wie a. a. O. nachgewiesen, in jedem Zeitpunkte durch

$i_1 = J.e^{-\frac{t}{\mu}}$ bezeichnet werden kann, wo μ dieselbe Constante wie oben ist; die Stromstärke J sinkt daher bei Ausschaltung der Batterie nicht wie oben der Fall war, als diese durch einen geraden Draht geschlossen war, plötzlich auf Null herab, sondern allmählig nach einem logarithmischen Gesetze. Aber dieser Endgegenstrom i_1 geht nicht mehr durch die Batterie, er verzehrt also keine

chemische Kraft und die ganze durch ihn vermöge der Wärmeentwicklung $w \cdot i_1^2$ im Schließungsdrabte freiwer-

dende Kraft $a w \cdot \int_0^\infty i_1^2 dt$ ist reiner Kraftgewinn. Wird

in dessen Ausdruck der obige transcendente Werth von i_1 eingesetzt und integrirt, unter Berücksichtigung, daß die Zeit vom Augenblicke der Stromunterbrechung an gerechnet wird, und daß für $t=0$, $i_1=J$ ist, so erhält man die ganze Summe der gewonnenen Kraft $= \frac{1}{2} a \cdot w \cdot \mu \cdot J^2$, dieselbe GröÙe, welche bei der Stromschließung verschwunden war. Wir haben bisher den Leitungswiderstand in der gesammten Kette als constant vorausgesetzt; es geschieht aber namentlich die Stromunterbrechung gewöhnlich in anderer Weise als der eben beschriebenen und so, daß an der Stelle der Unterbrechung ein sehr großer und schnell wachsender Widerstand auftritt, der dann durch das Erscheinen des Unterbrechungsfunkens bezeichnet ist. Wird in den obigen Formeln (in welcher der Leitungswiderstand der gesammten Kette $= 1$ gesetzt ist) ein bestimmter Werth für den letzteren eingesetzt, so bleiben auch die beiden Ausdrücke für die GröÙen der bei der Stromschließung gebundenen und bei der Stromunterbrechung frei werdenden Kraft abhängig von der GröÙe jenes Widerstandes; allein in beiden Ausdrücken gilt dieselbe Abhängigkeit von dieser letzteren, so daß die Gleichheit beider Ausdrücke bestehen bleibt und das Gleichgewicht in der chemischen und mechanischen Action des galvanischen Schließungskreises immer stattfindet, wie auch der Leitungswiderstand beschaffen seyn mag, wenn nur die elektromotorische Kraft in der Batterie dieselbe bleibt; außerdem läßt die Einführung des Leitungswiderstandes in obige Formeln erkennen, daß wenn, wie es gewöhnlich der Fall ist, bei der Stromunterbrechung ein von dem früheren verschiedener, variabler Widerstand auftritt, die gesamte mittelst des Extracurrents als Wärme freiwerdende Kraft unter allen eingeschalteten Widerständen die-

selbe bleibt; wir bezeichnen nämlich oben mit w die in einem bestimmten als Einheit vorausgesetzten Leitungswiderstande durch die Einheit der Stromstärke entwickelte Wärmemenge; mit der Aenderung des gesammten Widerstandes wird daher auch die Constante w variabel und man kann sich leicht überzeugen, daß in dem Endausdrucke für die bei der Stromunterbrechung freiwerdende Kraft der Einfluß des Leitungswiderstandes eben durch die in gleichem Maasse eintretende Aenderung jener Constante w verschwindet; auf welche Weise daher der Strom auch unterbrochen werden mag, ist die Summe der aus der Entmagnetisirung des Eisens freiwerdenden mechanischen Kraft dieselbe; ihre Wirkung als Wärme concentrirt sich aber bei der gewöhnlichen Art der Stromunterbrechung, den Gesetzen der Erwärmung der Leiter durch galvanische Ströme zufolge, an der Stelle des größten Widerstandes, d. h. dort, wo die Unterbrechung der Leitung geschieht, und erscheint hier als Funke.

Die bei elektromagnetischen Maschinen in Bewegung stattfindende Verminderung des Batteriestromes, welche von Joule der Verwandlung des Wärmeeffectes in die mechanische Arbeit der Maschine zugeschrieben wurde, ist wesentlich nichts als die Folge der bei allen solchen Maschinen in kurzen Zeiträumen häufig wiederholten Magnetisirung von Eisenstäben und der gleichzeitig vermöge dieser Magnetisirung stattfindenden Bindung von Kraft; diese letztere wird zwar bei jeder Stromunterbrechung wieder frei und da bei jeder Umdrehung der Maschine ebenso viel Magnetisirungen wie Entmagnetisirungen von Eisenkernen stattfinden, so muß auch die während jeder Umdrehung durch die Stromschliessungen verschwindende Kraft, welche die Ursache der Verminderung des Batteriestromes ist, gleich der bei den Stromunterbrechungen frei werdenden Kraft seyn, welche sich in den Unterbrechungsfunken entwickelt; allein wir werden auch sogleich sehen, daß, wenn durch die Umdrehung der Maschine äußere Arbeit geleistet wird, die bei der Entmagnetisirung frei werdende Kraft in

allen Fällen etwas geringer ist als die bei der jedesmaligen Stromschliessung verschwindende Kraft und daß dieser Unterschied eben in der äußeren Arbeit, welche die Maschine leistet, besteht; ein Theil der während der Bewegung stattfindenden Verminderung des Batteriestromes ist also allerdings immer die Folge der durch die Maschine hervor-gebrachten äußeren Arbeit.

Wir haben nämlich im Bisherigen als die Ursache der in der Spirale inducirten Ströme und des von diesen abhängenden Gebundenwerdens mechanischer Kraft die Veränderung des Batteriestromes betrachtet und nach dem durch die Erfahrung gegebenen Gesetze, daß in einem kleinen Zeitraume dt durch Veränderung des in einer Spirale cirkulirenden Batteriestromes um di in dem Leitungs-drahte eine elektromotorische Kraft proportional $-\frac{di}{dt}$ inducirt werde, auf den weiteren Verlauf der Erscheinungen geschlossen. Das Inductionsgesetz ist aber viel allgemeiner; es sagt, daß durch eine Veränderung des Magnetismus μi der Spirale überhaupt um $d \cdot \mu i$ die inducirte elektromotorische Kraft $-\alpha \cdot \frac{d(\mu i)}{dt}$ entstehe, wo α eine nur von der Anzahl und Form der Windungen abhängige Inductions-constante bezeichnet, die wir fortan der Einfachheit wegen als constant und $= 1$ setzen wollen; es bringt also nicht bloß jede Veränderung des Stromes i selbst wiederum einen Gegenstrom hervor, sondern ein solcher entsteht auch, sobald die magnetische Constante μ eine Aenderung erleidet. Dieß letztere geschieht immer in folgenden Fällen:

Wenn, während der Batteriestrom in der Spirale in seiner vollen Stärke cirkulirt, ein Eisenkern in die letztere eingeführt oder ein darin befindlicher Eisenstab herausgenommen wird; ferner wenn die Masse und Gestalt des darin befindlichen Eisenkerns durch Näherung oder Anlegung anderer Eisenstäbe an dasselbe eine Aenderung erleidet, und endlich der wichtigste Fall: wenn den Polen des in der Spirale befindlichen Eisenkernes ein Anker ge-

nähert oder davon entfernt und abgerissen wird; für diesen letzten Fall weisen namentlich die von Poggendorff angestellten Messungen eine sehr große Vermehrung des magnetischen Coëfficienten μ nach; es muß aber in allen Fällen, wo eine Vermehrung dieses Coëfficienten stattfindet, durch den entstehenden Gegenstrom die Intensität des Batteriestromes vermindert werden, so lange als die Veränderlichkeit jenes Coëfficienten dauert, und mithin während dieser Zeit ein Verlust mechanischer Kraft entstehen, der leicht aus den Gesetzen der Induction abzuleiten ist; ebenso auch im umgekehrten Falle.

Es muß nämlich von dem Zeitpunkte an, wo die Veränderung des Coëfficienten μ beginnt, bis zum Augenblicke, wo μ wieder constant wird, die Stromintensität dargestellt werden durch die Gleichung

$$i = J - \frac{d(\mu \cdot i)}{dt}$$

oder

$$(1) \quad i = J - \mu \cdot \frac{di}{dt} - i \frac{d\mu}{dt}$$

und um diese Gleichung integrieren und daraus den Werth der verschwundenen mechanischen Kraft $\int a \cdot w (J - i) i dt$ berechnen zu können, muß μ als Function von t gegeben seyn; nehmen wir als das Einfachste an, daß $\frac{d\mu}{dt}$ constant $= \beta$ sey, also $\mu = \beta t + \gamma$, wo γ den ursprünglichen Werth von μ vor seiner Veränderung bezeichnet, d. h. den Werth von μ für die leere Spirale, und betrachten also den Fall wo eine gleichmäßige Vermehrung des Coëfficienten μ dadurch entsteht, daß, während der Batteriestrom J in der Spirale cirkulirt, ein Eisenkern in dieselbe eingeführt wird, so ergibt sich aus (1) für die veränderliche Intensität des Batteriestromes i während der Dauer der Einführung des Eisenkernes

$$i = \frac{J}{1 + \beta} - \frac{J}{1 + \beta} \left(\frac{\gamma + \beta t}{\gamma} \right) - \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right).$$

Nehmen wir an, daß für $t = \tau$ die Veränderlichkeit des Coëfficienten μ aufhöre und derselbe von da an den constanten Werth $\gamma + \beta\tau$ behalte, so wird von diesem Zeitpunkte an i allmählig von dem Werthe

$$i = \frac{J}{1+\beta} - \frac{J}{1+\beta} \left(\frac{\gamma + \beta\tau}{\gamma} \right)^{- \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right)}$$

bis zum Werthe J wieder wachsen und zwar nach dem allgemeinen oben angegebenen logarithmischen Gesetze. Berechnet man nun die Werthe der Integrale $\int a.w.(J-i) i dt$ für die bei der Stromschliessung verschwindende Kraft, ferner für die während der Veränderung des Coëfficienten μ und hernach bis der Strom i wieder seinen ursprünglichen Werth J erreicht hat, verschwindende KraftgröÙe, und addirt beide, berechnet man endlich das Integral $\int_0^\infty a.w.i.^2 dt$, d. h. den Werth der bei der Stromunterbrechung frei werdenden Kraft, während der magnetische Coëfficient den Werth $\beta + \gamma\tau$ hat, so wird man finden, daß in allen Fällen der letztere Werth gröÙer als die Summe der beiden ersteren ist, daß also in dem ganzen Vorgange noch eine gewisse KraftgröÙe entwickelt worden seyn muß, von der man sich durch die entstandenen Wärmewirkungen, welche sämmtlich schon in der Rechnung berücksichtigt worden sind, keine Rechenschaft geben kann.

Der analytische Ausdruck für die eben erwähnte Differenz der entwickelten und der verbrauchten Arbeitskraft ist im Allgemeinen etwas complicirt; sehr einfach wird derselbe jedoch für den Fall, wenn β , der ursprüngliche magnetische Coëfficient der leeren Spirale, so klein angenommen wird, daß derselbe gegen $\gamma\tau$, die spätere Zunahme dieses Coëfficienten, vernachlässigt werden kann; alsdann wird der Werth jener Differenz $\frac{1}{2} a.w.J^2 \cdot \frac{\gamma\tau}{(1+\gamma)^2}$ eine unter allen Umständen positive GröÙe; es wird daher bei jeder unter den genannten Bedingungen stattfindenden VergröÙerung

des magnetischen Coëfficienten eine gewisse Gröfse mechanischer Kraft entwickelt, die nicht in der Form einer Erwärmung des Schließungsdrahtes erscheint; diese Gröfse kann sich daher nur als äufserer mechanische Kraft darstellen; es ist die in der elektromagnetischen Maschine zur Ueberwindung äufserer Widerstände entwickelte Arbeitskraft selbst. Und in der That finden wir, dafs der Mechanismus aller elektromagnetischen Maschinen, es mögen bei diesen Eisenkerne in leere Spiralen hineingezogen oder Eisenstäbe den Polen thätiger Elektromagnete genähert, oder die Pole der letzteren durch Anker vollkommen geschlossen werden, immer in der fortwährend wiederholten Vergröfserung des magnetischen Coëfficienten der betreffenden Spiralen oder Elektromagnete besteht und dafs nur *während* und *durch* diese Vergröfserung die Entwicklung der Arbeitskraft der Maschine vor sich geht; ebenso mufs umgekehrt bei jedem Vorgange, der eine Vergröfserung jenes Coëfficienten hervorbringt, äufserer mechanische Kraft frei werden, nämlich derjenige Ueberschufs der in dem ganzen Vorgange frei und gebunden werdenden Kräfte, der der Natur der Sache nach nicht als Wärmeerregung im Schließungsdrahte auftreten kann. Wird γ negativ, d. h. findet eine Verkleinerung des magnetischen Coëfficienten statt, während der Strom in seiner ganzen Stärke in der Spirale cirkulirt, so wird der Werth $\frac{1}{2} a \cdot w \cdot J^2 \cdot \frac{\gamma^2}{(1+\gamma)^2}$ negativ; d. h. es wird dann äufserer mechanische Kraft gebunden und consumirt; diefs findet statt, wenn ein Eisenkern aus einer in Thätigkeit befindlichen Spirale herausgezogen wird, ferner wenn ein Anker von den Polen eines Elektromagneten abgerissen oder überhaupt aus dessen Nähe entfernt wird, wie es namentlich der Fall ist, wenn man eine elektromagnetische Maschine rückwärts dreht. Die bei diesen Vorgängen consumirte äufserer Arbeit tritt alsdann als vergröfserte Wärmeentwicklung in dem Schließungsdrahte wieder hervor; die Stromentwicklung in der Saxton'schen magneto-elektrischen Maschine beruht ganz auf diesem Fall.

Die durch die elektromagnetische Maschine entwickelte mechanische Kraft $\frac{1}{2} a.w. J^2 \cdot \frac{\gamma^2}{(1+\gamma)^2}$ wird frei in dem Zeitraume zwischen einer Stromschliessung und einer Stromunterbrechung in der betreffenden Spirale; sie bildet nur einen kleinen Theil der in dieser Zeit entwickelten chemischen Kraft der Batterie, deren gröfserer Theil zur Erwärmung des Schliessungsdrahtes benutzt wird; das Verhältnifs beider Gröfsen ist jedoch im Allgemeinen veränderlich und kann man schon aus obigem Ausdrücke den Schluss ziehen, dafs bei einer constanten Vergröfserung des magnetischen Coëfficienten die als äufsere Arbeit auftretende Kraft einen um so gröfseren Theil der während derselben Zeit durch die Batterie entwickelten gesamten chemischen Kraft ausmacht, je langsamer die Umdrehung der Maschine ist; dafs sie aber nie der letzteren ganz gleich kommen kann. Bei einer von mir angewandten grofsen Maschine habe ich bei einer mittleren Umdrehungsgeschwindigkeit gefunden, dafs die mechanische Arbeit nahe $\frac{1}{8}$ der in gleichen Zeiträumen consumirten chemischen Kraft betrug, letztere aus der Menge des in der Batterie gelösten Zinks und aus der hierdurch frei werdenden Wärme berechnet, wie ich später noch näher nachweisen werde.

Ich gehe jetzt zur Behandlung einer anderen Reihe ähnlicher Phänomene über, zur Theorie der Entwicklung inducirter Ströme in Nebenleitungen, bei Schliessung und Unterbrechung des Batteriestromes in der Hauptleitung. Es sey die Batterie mit constanter elektromotorischer Kraft J durch eine Spirale A geschlossen; diese möge einen Eisenkern enthalten oder nicht, ihr magnetischer Coëfficient μ werde aber als unveränderlich angenommen; es sey ferner diese Spirale umgeben von einer zweiten Spirale B , so wird der magnetische Coëfficient von B im Allgemeinen von μ verschieden seyn und von der Anzahl und Gestalt der Windungen in B abhängen; wir nehmen jedoch der Einfachheit wegen an, dafs derselbe ebenfalls μ sey, was voraussetzt, dafs die Anzahl der Windungen dieselbe sey

wie in A und dafs in Bezug auf Lage und Entfernung von dem etwa eingeschlossenen Eisenkern einer jeden Windung in A eine homogene Windung in B entspreche; wir nehmen ferner den Gesamtwiderstand von B gleich demjenigen in A und der Batterie inclusive an, nämlich $= r$. Wird nun, während die Enden der Spirale B mit einander verknüpft sind, die Batterie durch A geschlossen, so wächst der Strom i in A allmählig zu seinen Endwerthe J an und während dieser Zunahme wird in jedem Augenblicke in B eine elektromotorische Kraft i_1 hervorgerufen, die durch $-\mu \cdot \alpha \frac{di}{dt}$ bezeichnet wird; wo α eine Inductionsconstante bedeutet, die von der absoluten Anzahl der Windungen und von ihrer gegenseitigen Entfernung abhängt. Das Entstehen dieses inducirten Stromes i_1 in B ruft zuerst in B selbst einen Gegenstrom hervor, dessen elektromotorische Kraft $-\mu \frac{di_1}{dt}$ ist, ferner einen neuen inducirten

Strom in A , dessen elektromotorische Kraft $= -\mu \alpha \frac{di_1}{dt}$, wo α dieselbe Inductionsconstante wie oben bedeutet; denn es ist klar, dafs dieser Coëfficient für beide Spiralen derselbe seyn mufs, da die Wirkung irgend einer Windung in A auf irgend eine Windung in B gleich der Gegenwirkung der letzteren auf die erstere ist, indem α in Bezug auf zwei beliebig betrachtete Windungen dasselbe ist, da es nur von ihrer gegenseitigen Entfernung abhängt und dasselbe bleibt, wenn A auf B wirkt oder wenn B auf A wirkt. Wir haben also im Drahte A drei elektromotorische Kräfte wirkend: die der Batterie, die des Anfangsgegenstromes und die von dem Strome i_1 in B inducirte; in B sind nur zwei elektromotorische Kräfte zu jeder Zeit wirksam: die von dem Strome i in A inducirte und die des Extracurrents oder des Gegenstromes aus i_1 selbst in B inducirte.

Die Ströme i und i_1 in A und B können demnach durch die Gleichungen:

$$(2) \quad i = J - \frac{\mu}{v} \cdot \frac{di}{dt} - \frac{\mu}{v} \cdot \alpha \cdot \frac{di_1}{dt}; \quad i_1 = -\frac{\mu}{v} \frac{di}{dt} - \frac{\mu}{v} \cdot \alpha \cdot \frac{di}{dt}$$

ausgedrückt werden; und wenn man zuerst noch $(i - i_1)$ integriert, und später eine zweite Integration nach i oder i_1 vornimmt, unter Berücksichtigung, daß für $t = 0$ sowohl i als $i_1 = 0$ seyn müssen, so erhält man die Stromintensitäten zu jedem Zeitpunkte

$$\begin{aligned} \text{in } A: \quad i &= J - \frac{1}{2} J \left\{ e^{-\frac{vt}{\mu(1-\alpha)}} + e^{-\frac{vt}{\mu(1+\alpha)}} \right\} \\ \text{in } B: \quad i_1 &= \frac{1}{2} J \left\{ e^{-\frac{vt}{\mu(1-\alpha)}} - e^{-\frac{vt}{\mu(1+\alpha)}} \right\} \dots (3). \end{aligned}$$

Wird nun, nachdem der Strom i in A seinen Endwerth J erreicht hat und der Strom i_1 in B verschwindend klein geworden ist, bei verbundenen Enden der Spirale B , der Batteriestrom in A unterbrochen, ohne daß jedoch der Leitungswiderstand eine Aenderung erleidet, so entstehen wiederum in jeder der beiden Spiralen inducirte Ströme doppelter Art, nämlich die von den eignen Windungen hervorgerufenen Gegenströme und die von den Windungen der anderen Spiralen bewirkten Inductionsströme und es treten in jeder Spirale in jedem Zeitpunkte zwei elektromotorische Kräfte hervor, und nach einer ganz ähnlichen Schlufsfolge wie oben lassen sich für die bei der Unterbrechung des Batteriestromes in den Drähten A und B entstehenden Ströme i' und i'_1 die Gleichungen bilden:

$$i' = -\frac{\mu}{v} \cdot \frac{di'}{dt} - \frac{\mu}{v} \cdot \alpha \cdot \frac{di'_1}{dt}; \quad i'_1 = -\frac{\mu}{v} \frac{di'}{dt} - \frac{\mu}{v} \cdot \alpha \cdot \frac{di'}{dt}$$

und durch eine Integration zuerst nach $(i' - i'_1)$, dann nach i' oder i'_1 allein, unter Berücksichtigung, daß für $t = 0$, die Zeit jetzt vom Augenblicke der Stromunterbrechung an gerechnet, $i' = J$ und $i'_1 = 0$ zu setzen ist, erhält man die Stromintensitäten in jedem Zeitpunkte

$$\begin{aligned} \text{in } A: \quad i' &= \frac{1}{2}J \left\{ e^{-\frac{vt}{\mu(1+\alpha)}} + e^{-\frac{vt}{\mu(1-\alpha)}} \right\} \\ \text{in } B: \quad i'_1 &= \frac{1}{2}J \left\{ e^{-\frac{vt}{\mu(1+\alpha)}} - e^{-\frac{vt}{\mu(1-\alpha)}} \right\} \dots (4). \end{aligned}$$

Denken wir uns endlich die Spirale *B* während des Stromschlusses und während der Unterbrechung des Batteriestromes geöffnet, so wird in *B* gar kein Strom entstehen, in *A* hingegen keine andere elektromotorische Kraft, aufser der der Batterie, als die durch den Anfangs- und End-Gegenstrom in den eignen Windungen veranlafste stattfinden; und wenn wir den Strom in *A* unter diesen Umständen nach dem Schlusse des Batteriestromes mit i^0 , nach der Ausschaltung der Batterie mit i_1^0 bezeichnen, so gelten hierfür die schon oben angegebenen Gleichungen

$$i^0 = J - J \cdot e^{-\frac{t}{\mu}}; \quad i_1^0 = J \cdot e^{-\frac{t}{\mu}}.$$

Auf diese Weise sind uns alle Stromintensitäten bekannt, welche in jedem Zeitpunkte vorkommen können, die Spirale *B* mag geöffnet oder geschlossen seyn, und es lassen sich hieraus die Integrale berechnen, welche die Gröfsen der in den einzelnen Vorgängen verschwindenden und frei werdenden mechanischen Kräfte, d. h. galvanische Wirkungen auf Wärme- und mechanische Einheiten reducirt, darstellen.

Wenn nämlich 1) der Batteriestrom geschlossen wird, während die Spirale *B* geöffnet bleibt, so verschwindet in *A* die mechanische Kraftgröfse $a.w. \int_0^{\infty} (J - i^0) i^0 . dt$; wird nun, nachdem der Batteriestrom seinen Endwerth *J* erreicht hat, die Spirale *B* geschlossen, und dann die Batterie ausgeschaltet, so wird durch die Oeffnung des Batteriestromes in *A* die Kraftgröfse $a.w. \int_0^{\infty} i'^2 . dt$, in *B* die Gröfse

$a.w. \int_0^{\infty} i_1^2 dt$ frei gemacht und wenn das Gleichgewicht der in dem ganzen Vorgange consumirten chemischen Kraft und der frei gewordenen mechanischen Kräfte stattfinden soll, so muß

$$(5) \quad a.w. \int_0^{\infty} (J - i^0) i^0 dt = a.w. \int_0^{\infty} i'^2 dt + a.w. \int_0^{\infty} i_1^2 dt$$

seyn.

2) Wenn bei Schließung des Batteriestromes die Spirale B geschlossen ist, so wird in A die mechanische Kraftgröße $a.w. \int_0^{\infty} (J - i) i dt$ gebunden, in B hingegen als Resultat des bei der Stromschließung inducirten Stromes die Größe $a.w. \int_0^{\infty} i_1^2 dt$ frei; wird nun, nachdem der Batteriestrom seinen Endwerth J erreicht hat, die Spirale B geöffnet, und dann erst die Batterie ausgeschaltet, so kann bei der Stromunterbrechung kein inducirter Strom in B entstehen; es wird aber in A , vermöge des entwickelten Ertra-currents, die Kraftgröße $a.w. \int_0^{\infty} i_1^{02} dt$ frei werden; und in dem ganzen Vorgange müssen auch hier die auf mechanische Weise entwickelten Kräfte gleich der bei der Stromschließung in A verschwundenen Kraft seyn und die Gleichung

$$(6) \quad a.w. \int_0^{\infty} (J - i) i dt = a.w. \int_0^{\infty} i_1^2 dt + a.w. \int_0^{\infty} i_1^{02} dt$$

stattfinden.

3) Bleibt endlich die Spirale B sowohl bei der Schließung als bei der Unterbrechung des Batteriestromes geschlossen, so verschwindet bei der Stromschließung wie im vorhergehenden Falle die Kraftgröße $a.w. \int_0^{\infty} (J - i) i dt$

in

in A und in B wird die Kraft $a.w. \int_0^{\infty} i_1^2 dt$ frei; bei der Unterbrechung des Batteriestromes hingegen wird wie im Falle 1) in A die Kraftgröfse $a.w. \int_0^{\infty} i^2 dt$, in B : $a.w. \int_0^{\infty} i_1^2 dt$ frei gemacht; es muß aber auch hier die bei der Stromschliessung in A verschwundene Kraft gleich der Summe aller übrigen in dem ganzen Vorgange frei gewordenen Kräfte seyn; somit ergibt sich die Gleichung:

$$(7) \quad a.w. \int_0^{\infty} (J - i) i dt = a.w. \int_0^{\infty} i_1^2 dt + a.w. \int_0^{\infty} i^2 dt \\ + a.w. \int_0^{\infty} i_1'^2 dt.$$

Setzt man aus (4) und (5) die Werthe von i^0 , i_1^0 , i , i_1 , i' , i_1' in die Gleichungen (5), (6), (7) ein und integrirt unter Berücksichtigung, dafs für $t=0$ jedesmal die zu bestimmende Kraftgröfse $=0$ ist, so werden sämtliche Gleichungen (5), (6), (7) identisch; was beweist, dafs das vollständige und genaue Gleichgewicht der auf chemische Weise in der galvanischen Kette consumirten und der als Wärmewirkung oder auf mechanische Weise freiwerdenden Kräfte auch dann stattfindet, wenn Ströme in Nebenleitungen inducirt werden und auf diese Weise ein Theil der entwickelten Kraft von der Hauptleitung auf die Nebenleitung übertragen wird. Der Nachweis dieses Satzes ward uns nur möglich dadurch, dafs wir die Gesetze der Induction aus der Erfahrung als bekannt voraussetzten, indem es sich zeigte, dafs fast in allen Vorgängen in der galvanischen Kette die Ausgleichung der chemischen Action und der Wärme- und Kraft-Entwicklung nur durch Vermittelung inducirter Ströme vor sich geht; umgekehrt müssen daher auch, wenn wir von dem Satze des Gleichgewichtes der chemischen und mechanischen Action in der Kette ausgehen, hieraus die Gesetze der Induction abzuleiten seyn.

Aus der Vergleichung der Gleichungen (6) und (7) wird man finden

$$(8) \quad a.w. \int_0^{\infty} i_1'^2 dt = a.w. \int_0^{\infty} i'^2 dt + a.w. \int_0^{\infty} i_1^2 dt$$

d. h. die Kraft, welche bei Oeffnung der Batterie durch Entstehung des Extracurrents frei wird, ist immer dieselbe, es mögen Nebenleitungen vorhanden seyn oder nicht; im ersteren Falle wird jedoch ein Theil dieser Kraft in den Nebenleitungen entwickelt und nur der Rest in der Hauptleitung; die Summe beider Kraftgrößen bleibt jedoch immer dieselbe, nämlich gleich derjenigen, welche in der Hauptleitung entwickelt wird, wenn gar keine Nebenleitung vorhanden wäre. Diefß stimmt auch überein mit der bekannten Erscheinung, daß der Unterbrechungsfunke in einer Leitung desto schwächer wird, je mehr Nebenleitungen vorhanden sind, in welchen secundäre Ströme bei der Stromunterbrechung inducirt werden; die Rückwirkung des in der Nebenleitung inducirten Stromes auf den Extracurrent in der Hauptleitung bewirkt diese Verminderung der Stärke des Unterbrechungsfunkens; der Unterbrechungsfunke ist aber nur das Resultat der in Einem Punkte der Leitung concentrirten Wärmeentwicklung des Endgegenstromes.

Ich habe versucht die Veränderung der Stromintensitäten in den bisher betrachteten verschiedenen Fällen auf eine mehr anschauliche Weise, als dieß die Formeln zu geben vermögen, durch Zeichnung der entsprechenden Curven darzustellen. In Fig. 4 Taf. IV. bedeutet *ABCD* die Curve, deren Ordinaten *AB*, *AC*, *AD* die Stromstärke, deren Abscissen von *A* an gerechnet die Zeit darstellen; die allmähliche Zunahme der Stromintensität geschieht nach dem bekannten logarithmischen Gesetze; geschieht die Ausschaltung des Batteriestromes bei *D*, wo die Stromstärke schon als ihrem Endwerthe *J* sehr nahe kommend betrachtet werden kann, so nimmt alsdann bei gleichem Leitungswiderstande die Stromstärke in der ebenfalls logarithmi-

schen Curve *DEF* ab, bis sie für $t = \infty$ gleich Null wird. Dies ist der Verlauf des Stromes in einer Spirale mit constantem magnetischem Coëfficienten. Fig. 5 zeigt die Werthe der Stromstärken, wenn bei *a* plötzlich eine dauernde Vergrößerung des magnetischen Coëfficienten eintritt; diese bringt eine dauernde Verminderung der Stromstärke hervor, und wenn wir annehmen, daß bei *b* der magnetische Coëfficient seinen größten Werth erreicht hat und von da an constant bleibt, so wird die Stromstärke von nun an wieder nach dem allgemeinen logarithmischen Gesetze zunehmen, jedoch nicht in ganz derselben Curve wie bei der ersten Zunahme, sondern durch den Einfluß des neuen magnetischen Coëfficienten modificirt; sie wird ihren Endwerth *J* im Allgemeinen später erreichen, als es sonst geschehen wäre; ebenso wird nun die bei der Stromunterbrechung von *D* an beschriebene Curve zwar zur selben Gattung gehören wie in Fig. 4, jedoch wird sie vermöge des vergrößerten magnetischen Coëfficienten weniger steil abfallen und die Ordinaten werden die gleichen Werthe später erreichen als dort; der Unterbrechungsfunke wird daher auch hier bedeutend stärker seyn als wenn der magnetische Coëfficient derselbe geblieben wäre wie im vorigen Falle. In Fig. 6 sind die Modificationen dargestellt, welche die Curven des Anfangs- und End-Gegenstromes erfahren, wenn zwar der magnetische Coëfficient immer derselbe bleibt, in einer Nebenleitung aber bei Oeffnung und Schließung des Batteriestromes secundäre Ströme erzeugt werden; zugleich sind die letzteren graphisch unter *abc* und *a₁b₁c₁* angegeben; der bei der Oeffnung des Stromes in der Nebenleitung entstehende secundäre Strom hat, wie schon aus den Formeln (3) und (4) hervorgeht, in jeder Beziehung denselben Verlauf und dieselbe Intensität, wie der Strom bei der Schließung der Batterie, nur mit entgegengesetzten Vorzeichen.

(Schluß im nächsten Heft.)

VII. Ueber den Einfluss des Wassers bei chemischen Zersetzungen; von Heinrich Rose.

(Fortsetzung.)

13. Ueber die Verbindungen der Borsäure und des Wassers mit der Thonerde.

Die schwachen Basen, welche die Zusammensetzung \ddot{R} haben, verbinden sich entweder gar nicht mit Kohlensäure, oder nehmen, wenn sie aus ihren Auflösungen durch kohlensaure Alkalien gefällt werden, letztere nur in sehr unbedeutender Menge neben sehr bedeutenden Mengen von Wasser auf.

Die Borsäure, welche in ihren Verbindungen manche Analogie mit der Kohlensäure zeigt, verhält sich gegen schwache Basen doch etwas anders. Wir haben gesehen, daß das Eisenoxyd mit Borsäure als die Verbindung $\text{Fe}\ddot{B}$, freilich nur in Gemeinschaft mit einfach- oder mit zweifach borsauren Natron gefällt werden kann. Durch längere Behandlung selbst nur mit kaltem Wasser wird dem borsauren Eisenoxyd der größte Theil der Borsäure entzogen und durch Wasser ersetzt.¹⁾

Die Thonerde zeigt gegen die Borsäure ein dem Eisenoxyd ähnliches Verhalten.

Zu den Versuchen über die Verbindungen der Thonerde mit der Borsäure wurde sehr reiner Kali-Alaun angewandt, der vollkommen frei von Ammoniak war.

1) Fällungen vermittelt des neutralen Borax.

Wie bei der Fällung des borsauren Eisenoxys wurde ein Ueberschufs des borsauren Natrons angewandt.

Die Lösung von einem Atom des Kali-Alauns in 12 Theilen kalten Wassers wurde mit der Lösung von vier Atomgewichten des neutralen Borax, der ebenfalls in 12

1) Pogg. Ann. Bd. 89, S. 473.

Theilen kalten Wassers gelöst worden war vermischt. Der sehr voluminöse Niederschlag wurde in 2 Theile getheilt.

Der eine Theil wurde, ohne ausgewaschen zu werden zwischen Fliesspapier gepresst. Die abfiltrirte Flüssigkeit enthielt keine Thonerde.

Die bei 100° getrocknete Verbindung war etwas complicirt zusammengesetzt.

Sie wurde auf die Weise untersucht, dafs in einem Theile nach Auflösung in Chlorwasserstoffsäure die Schwefelsäure mittelst Chlorbaryums bestimmt wurde.

In einem zweiten Theile der Verbindung wurde die gemeinschaftliche Menge der Schwefelsäure und des Wassers durch den Verlust beim Glühen gefunden. Nach Abzug der Schwefelsäure ergab sich die Menge des Wassers. Bei dieser Bestimmung des Wassers war es nicht nöthig Bleioxyd anzuwenden, da durch gehöriges Glühen in der That mit dem Wasser alle Schwefelsäure verjagt wurde, wie dies aus besonders zu diesem Zwecke angestellten Versuchen sich ergab. Der geglähte Rückstand wurde mit Fluorwasserstoffsäure und darauf mit Schwefelsäure nach bekannten Methoden behandelt, der trockne Rückstand in Chlorwasserstoffsäure gelöst, und aus der Auflösung die Thonerde durch kohlensaures Ammoniak oder durch Schwefelammonium gefällt. In der filtrirten Flüssigkeit wurden die Mengen von Kali und von Natron nach bekannten Methoden gefunden.

Die Zusammensetzung der bei 100° getrockneten Verbindung war nach den Untersuchungen des Herrn Weber, der auch die folgenden Verbindungen analysirt hat, folgende:

		Sauerstoff.
Thonerde	38,37	17,94
Borsäure	37,56	25,83
Schwefelsäure	2,64	1,58
Wasser	12,09	10,75
Natron	6,13	1,57
Kali	3,21	0,54
	<hr/> 100,00.	

Jedenfalls ist die Borsäure mit der Thonerde als AlB verbunden, welche Verbindung der des borsauen Eisenoxys analog ist. Das Kali ist mit Schwefelsäure vereinigt, das Natron mit Borsäure, und zwar wahrscheinlich zu neutralem Borax, wie es in der analogen Fällung des borsauen Eisenoxys der Fall ist. Das gefundene Resultat indessen stimmt am besten mit folgendem berechneten:

14 Al	38,78
20 B	37,65
1 S	2,16
20 H	12,14
4 Na	6,73
1 K	2,54
	<hr/> 100,00.

nach welcher Zusammensetzung 14 AlB mit 4 $\text{Na} + 6 \text{B}$ verbunden angenommen werden müßten, also mit einer Mischung von einfach- und von zweifach-borsauem Natron. Da dies indessen weniger wahrscheinlich ist, und da bei der Fällung des borsauen Eisenoxys vermittelt des neutralen Borax in der nicht ausgewaschenen Verbindung nur neutraler Borax und nicht eine Mischung von diesem mit gewöhnlichem Borax enthalten ist, so ist folgende berechnete Zusammensetzung, obgleich sie nicht so gut mit dem gefundenen Resultate übereinstimmt, wohl die richtigere:

12 Al	39,33
16 B	35,64
1 S	2,56
20 H	11,50
4 Na	7,96
1 K	3,01
	<hr/> 100,00.

Hiernach besteht der Niederschlag aus $3(\text{AlB} + \text{H}) + (\text{NaB} + 2\text{H})$ gemengt mit $\frac{1}{4}$ Atom $\text{K}\ddot{\text{S}}$; er ist also analog

der Fällung zusammengesetzt, welche in einer Eisenoxydlösung durch neutralen Borax entsteht, nur dafs in dieser 4 Atome von borsauerm Eisenoxyd mit einem Atom neutralen Borax vereinigt sind¹⁾ während in der Thonerdeverbindung nur 3 Atome der borsauen Thonerde gegen ein Atom des neutralen Borax verbunden sind.

Dafs auch in diesem Niederschlage das neutrale borsauere Natron eine chemische Verbindung mit der borsauen Thonerde bildet, geht daraus hervor, dafs dasselbe in derselben keine Kohlensäure anzieht.

Aber auch diese Verbindung beruht wie die des neutralen Borax mit dem borsauen Eisenoxyd auf einer schwachen Verwandtschaft, denn sie kann durch bloßes Waschen mit kaltem Wasser zersetzt werden.

Der andere Theil der Fällung wurde nämlich nach dem Filtriren mit kaltem Wasser vollständig ausgewaschen, so dafs das Waschwasser keine Schwefelsäure mehr enthielt, und nach dem Abdampfen keinen Rückstand mehr hinterliefs. Das Waschwasser enthielt keine Thonerde.

Der ausgewaschene Niederschlag war frei von Schwefelsäure und von Alkali. Bei 100° getrocknet hatte er folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoff.	At.	Berechnete Zusammensetzung.
Thonerde	56,36	26,34	2	56,24
Borsäure	18,79	12,92	1	19,11
Wasser	24,85	22,19	5	24,65
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Die Zusammensetzung ist $(\text{Al B} + 2 \text{H}) + \text{H}^{\circ} \text{Al}$. Ausser dem borsauen Natron ist durch das Wasser der Thonerde die Hälfte der Borsäure entzogen worden, und sie ist nun mit einem Hydrate der Thonerde verbunden, das künstlich dargestellt werden kann, und das in der Natur als Gipsit vorkommt.

Durch den Einfluß des Wassers verliert die borsauere Thonerde weniger Borsäure als das borsauere Eisenoxyd.

1) Pogg. Ann. Bd. 89, S. 478.

2) Fällungen vermittelt des gewöhnlichen Borax.

Es wurden wie bei der Fällung vermittelt des neutralen Borax ein Atomgewicht des Kali-Alauns durch vier Atomgewichte vom zweifach-borsauren Natron zersetzt. Die Salze wurden in der zwölffachen Menge kalten Wassers aufgelöst, und die Lösungen kalt mit einander vermischt. Die von der voluminösen Fällung getrennte Flüssigkeit enthielt auch in diesem Falle keine Thonerde.

Ein Theil des Niederschlags wurde, ohne ausgewaschen zu werden, zwischen Fließpapier gepresst. Nach dem Trocknen hatte er eine bernsteinähnliche Farbe angenommen, welche nicht von einer geringen Verunreinigung von Eisenoxyd herrührte, und auch beim Glühen verschwand, also wohl von einer sehr geringen Beimengung von organischer Materie herrührte. Das geglühte Salz enthielt keine Schwefelsäure.

Nach dem Trocknen bei 100° hatte die Verbindung folgende Zusammensetzung:

		Sauerst.	At.	Berechnete Zusammensetzung.
Thonerde	29,80	13,93	5	28,62
Borsäure	37,31	25,66	10	38,90
Schwefelsäure	4,70	2,82	1	4,46
Wasser	20,58	18,29	21	21,07
Natron	5,92	1,52	2	6,95
Kali	1,69	0,29		
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Durch die Einwirkung des zweifach-borsauren Natrons auf Kali-Alaun hat sich in der That zweifach-borsaure Thonerde gebildet, welche mit Thonerdehydrat und mit schwefelsaurem Alkali gemengt, gefällt worden ist. Die getrocknete Verbindung besteht wesentlich aus $4(\overset{\cdot\cdot}{\text{Al}}\overset{\cdot\cdot}{\text{B}}^2 + 3\overset{\cdot\cdot}{\text{H}}) + \overset{\cdot\cdot}{\text{H}}^3\overset{\cdot\cdot}{\text{Al}} + (\text{Na}\overset{\cdot\cdot}{\text{B}}^2 + 5\overset{\cdot\cdot}{\text{H}})$ gemengt mit 1 Atom Na $\overset{\cdot\cdot}{\text{S}}$, oder statt dessen zum Theil mit K $\overset{\cdot\cdot}{\text{S}}$. Bei 100° behält bekanntlich der gewöhnliche Borax die Hälfte seines Wassergehaltes.

Die Zusammensetzung der Verbindung ist also ver-

schieden von der, welche durch eine Lösung des zweifach-borsauren Natrons in einer Eisenoxydlösung hervor-gebracht wird ¹⁾. In diesem Falle ist durch zweifach-borsaures Natron nur das borsaure Eisenoxyd FeB , verbunden mit gewöhnlichem Borax, gefällt worden.

Es mag anstößig erscheinen, die borsaure Thonerde AlB^2 neben dem Thonerdehydrat H^3Al in dem Niederschlage anzunehmen. Und in der That mag es eben so wahrscheinlich seyn, daß statt dessen borsaure Thonerde AlB mit der borsauren Thonerde AlB^2 in der Fällung gemeinschaftlich enthalten sind, und zwar $3(\text{AlB}^2 + 4\text{H}) + 2(\text{AlB} + \text{H}) + \text{NaB}^2 + 5\text{H}$, welche Verbindung 1 At. H weniger enthält, als nach der oben angeführten Formel erfordert wird.

Wenn man aber bedenkt, daß zweifach-borsaures Natron neben kohlensaurem Natron nicht nur in Auflösungen, sondern auch in trocknen Verbindungen neben einander bestehen können, so wird man auch Verbindungen der borsauren Thonerde AlB^2 mit Thonerdehydrat nicht für ganz unwahrscheinlich halten können.

Der zweite Theil der Fällung wurde mit kaltem Wasser ausgewaschen und zwar so lange, bis das Waschwasser weder Spuren von Schwefelsäure zeigte, noch einen Rückstand beim Abdampfen hinterließ. Dadurch wurde das schwefelsaure Alkali und neben vieler Borsäure das zweifach-borsaure Natron ausgewaschen, so daß die Verbindung keine Schwefelsäure und nur eine geringe Menge von Natron noch enthielt. Bei 100° getrocknet hatte sie nach dem Auswaschen folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoff.	At.	Berechnete Zusammensetzung.
Thonerde	51,05	23,86	3	52,07
Borsäure	22,90	15,75	2	23,59
Wasser	25,07	22,28	8	24,34
Natron	0,98	0,25		100,00.
	100,00.			

1) Pogg. Ann. Bd. 89, S. 480.

In der ausgewaschenen Verbindung ist nur die borsäure Thonerde ÄlB enthalten, mit Thonerdehydrat verbunden. Der Ueberschufs der Borsäure ist durch den Einfluß des Wassers dem Niederschlage entzogen worden. Die Zusammensetzung kann durch $2(\text{ÄlB} + 2\text{H}) + \text{H}^3\text{Äl}$ ausgedrückt werden, in welcher indessen ein Atom Wasser weniger enthalten ist, als die gefundene Zusammensetzung gegeben hat. Zum Theil ist dieser Ueberschufs des Wassers noch mit der geringen Menge des Borax verbunden, welche aus der Verbindung noch nicht ausgewaschen worden war.

In jedem Falle unterscheidet sich der durch gewöhnlichen Borax gefällte und ausgewaschene Niederschlag von dem durch neutralen Borax erzeugten und ausgewaschenen nur dadurch, daß er gerade noch einmal so viel von der Verbindung $\text{ÄlB} + 2\text{H}$ gegen dieselbe Menge von Thonerdehydrat enthält.

Es geht aus diesen Versuchen hervor, daß die Thonerde eine weit größere Verwandtschaft zur Borsäure als zur Kohlensäure hat, und daß daher auch in den ausgewaschenen Fällungen eine bedeutende Menge von Borsäure enthalten ist, besonders wenn sie durch zweifach-borsaureres Natron erzeugt worden sind. Die Verwandtschaft der Borsäure zur Thonerde ist größer als die zum Eisenoxyd, und selbst als die zu vielen stärkeren Basen.

Die Aehnlichkeit in dem Verhalten der Kohlensäure und der Borsäure in ihren Lösungen mit Basen veranlaßt mich einige Versuche über die Verbindungen mit der Kohlensäure mitzutheilen.

Richter nahm bekanntlich eine kohlensaure Thonerde an, und ging bei seinen Untersuchungen, als er die Verhältnisse, in denen sich Säuren und Basen in Salzen mit einander verbinden, bestimmen wollte, meistentheils von derselben aus. Berzelius, und vor ihm schon Bucholz und andere Chemiker, läugneten hingegen die Existenz einer

kohlensauren Thonerde. In neueren Zeiten hat H. Bley ¹⁾ eine ausführliche und gründliche Arbeit über die Einwirkung von Alkalihydraten und kohlensauren Alkalien auf eine Alaunlösung bekannt gemacht, aus der hervorgeht, daß allerdings unter gewissen Umständen eine wasserhaltige kohlensaure Thonerde, deren Kohlensäuregehalt aber zwischen 5,27 bis 11,39 Proc. schwankte, erhalten werden kann. Es widerspricht dieß der Annahme von Berzelius, welcher behauptet, daß wenn Thonerde vermittelst eines Ueberschusses von kohlensauren Alkalien gefällt würde, der Niederschlag ein unlösliches Doppelsalz von kohlensaurem Alkali und Thonerde wäre, das sich in Säuren mit Brausen auflöst ²⁾).

Später hat Muspratt, ohne auf die Untersuchungen von Bley Rücksicht zu nehmen, die Untersuchung des Niederschlags bekannt gemacht, welchen er in einer Alaunauflösung durch kohlensaures Ammoniak erhalten hatte ³⁾. Er fand ihn folgendermaßen zusammengesetzt.

3 At. Thonerde	44,86
2 At. Kohlensäure	12,91
16 At. Wasser	42,23
	<hr/> 100,00.

Bley hat nicht mit großer Bestimmtheit angegeben, unter welchen Umständen man basisch-kohlensaure Thonerde, oder eine Doppelverbindung von derselben mit kohlensaurem Alkali erhält. Jedenfalls aber sind nach ihm diese Niederschläge bloße Gemenge.

Es ist schwer einzusehen, wie kohlensaures Alkali, wenn es als Lösung bei der Fällung einer Salzlösung angewandt worden ist, in dem ausgewaschenen Niederschlag gemengt enthalten seyn kann. Offenbar ist es durch chemische Verwandtschaft mit dem gefällten kohlensauren Oxyde, oder mit dem Oxydhydrat verbunden. Aber die Fällung

1) Journ. für pract. Chemie Bd. 39, S. 1.

2) Lehrbuch der Chemie, 5te Aufl. Bd. 3, S. 479.

3) *The quarterly Journ.* 1850, Bd. II, S. 216.

kann diese Doppelverbindung gemengt oder vielleicht verbunden mit mehr oder weniger Hydrat oder Carbonat des Oxydes enthalten, und auch nur das scheint Bley behaupten zu wollen.

Die Fällung, welche Hr. Weber untersucht hatte, ist auf folgende Weise dargestellt worden. Eine bedeutende Menge eines käuflichen Alauns, der aus Kali- und Ammoniak-Alaun bestand, in vielem Wasser gelöst, wurde durch einen Ueberschuß einer Lösung von kohlensaurem Ammoniak gefällt, und der Niederschlag mit reinem Flußwasser so lange ausgewaschen, bis das Waschwasser keine Reaction auf Schwefelsäure mehr gab. Er enthielt dessenungeachtet, wie dieß bekannt ist, noch viel Schwefelsäure und die Lösung desselben in Chlorwasserstoffsäure gab mit Chlorbaryum eine starke Fällung. Die chlorwasserstoffsäure Lösung wurde von Neuem mit kohlensaurem Ammoniak gefällt, und nach dem Absetzen des Niederschlags die Flüssigkeit davon abgegossen, die Fällung mit destillirtem Wasser übergossen, damit bis zum Sieden erhitzt und das Ganze in eine große Flasche zum Absetzen hingestellt. In dieser wurde durch einen Heber die Flüssigkeit abgezogen, von Neuem destillirtes Wasser hinzugefügt, und damit so lange fortgefahren, bis das durch den Heber abgezogene Waschwasser nur höchst geringe Spuren von Schwefelsäure noch zeigte.

Durch das lange Stehen der Thonerde unter Wasser hatte sie ihre voluminöse Beschaffenheit ganz verloren und sich in einen Niederschlag von dichter Beschaffenheit auf eine ähnliche Weise verwandelt, wie das bei dem Eisenoxydhydrate der Fall ist, wenn es lange unter Wasser aufbewahrt ist.

Der Niederschlag wurde nun auf großen Filtern vollständig mit kaltem destillirtem Wasser ausgewaschen, bis das Waschwasser keine Spur von Schwefelsäure mehr enthielt, und darauf an der Luft getrocknet.

Mit Chlorwasserstoffsäure übergossen, entwickelte sich heftig Kohlensäuregas, aber die Lösung zeigte vermitteltst

Chlorbaryums keine Spur von Schwefelsäure, indessen in Salpetersäure gelöst, wurde eine wiewohl höchst unbedeutende Trübung vermittle des salpetersauren Silberoxyds hervorgebracht, die indessen so gering war, daß bei der Untersuchung keine Rücksicht auf den geringen Chlorgehalt genommen wurde. Beim Erhitzen entwickelte sich ein starker Geruch nach Ammoniak.

Die Zusammensetzung der Verbindung im lufttrocknen Zustande war:

		Sauerstoff.	At.	Berechnete Zusammensetzung.
Thonerde	34,48	16,12	1	32,63
Ammoniumoxyd	15,33	4,72	1	16,53
Kohlensäure	26,77	19,47	2	27,96
Wasser	23,42	20,82	4	22,88
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Die einfachste Ansicht, welche man von der Zusammensetzung dieser Fällung aufstellen kann, ist wohl die, sie als eine Verbindung von Thonerdehydrat mit zweifach-kohlensaurem Ammoniumoxyd zu betrachten, und sie ließe sich dann durch $\text{H}^3\text{Al} + (\text{NH}^4\text{C}^2 + \text{H})$ ausdrücken.

Eine andere Ansicht indessen, welche mir aber nicht als die wahrscheinlichere erscheint, ist die, kohlensaure Thonerde, oder vielmehr eine Verbindung derselben mit Thonerdehydrat hier anzunehmen. Dieselbe müßte dann mit einfachen kohlensaurem Ammoniumoxyd vereinigt seyn. Es ist nämlich bekannt, daß jedes kohlensaure Ammoniumoxyd, welches mehr Kohlensäure enthält als dem einfachen Salze entspricht, sich in der wässerigen Lösung in letzteres verwandelt, wenn dieselbe gekocht wird; man könnte daher annehmen, daß bei erhöhter Temperatur das zweifach-kohlensaure Ammoniak Kohlensäure der Thonerde abgetreten hätte. Ehe wir aber nicht mit Sicherheit die Bedingungen kennen, unter denen sich Kohlensäure mit Thonerde verbinden kann, müssen wir wohl der ersten Vorstellungsart den Vorzug geben.

Was die kohlensaure Thonerde betrifft, welche Muspratt untersucht hat, so geht aus der Untersuchung nicht hervor, ob dieselbe auf einen Ammoniakgehalt geprüft worden ist.

(Fortsetzung folgt.)

VIII. Ueber die Bewegung eines Kreisels um seine Spitze; von Dr. F. J. Stamkart ¹⁾.

Wenn die Spitze A eines Kreisels (Taf. III Fig. 5) als der Ursprung eines Coordinaten-Systems angenommen wird, wovon die Axe Z in verticaler Stellung, und dann geschrieben wird:

$$dV = \frac{1}{2}(xdy - ydx),$$

$$dV' = \frac{1}{2}(xdz - zdx),$$

$$dV'' = \frac{1}{2}(ydz - zdy);$$

ferner m = der unendlich kleinen Masse eines einzigen

Punktes P , dessen Coordinaten x, y, z ,

M = der Masse des Kreisels,

X, Y und Z = den Coordinaten des Schwerpunktes,

g = der Gravitation,

und t = der Zeit;

- 1) Vorliegendes ist ein vom Hrn. Verf. gemachter, kurzer Auszug seiner Abhandlung: *Verhandeling over de Beweging van eenen Tol om zijne Punt, mitsgaders over de Wetten, volgens welke een draaijende Ring, door eenen grooteren concentricen vasten Ring aangestrokken wordende, zich om zijn middelpunt beweegt*; Amsterd. 1847. — Ich erlaube mir dabei zu bemerken, daß bereits Leonh. Euler in seiner *Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum etc.*, Rostochii et Gryphiswaldae 1765 (von welcher kürzlich, in Berlin 1853, eine deutsche Uebersetzung durch Hrn. Dr. Wolfers erschienen ist) das Problem des Kreisels behandelt hat. P.

So hat man bekanntlich (Seite 8 und 9 des Originals)

$$\Sigma m d\left(\frac{dV}{dt}\right) = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

$$\Sigma m d\left(\frac{dV'}{dt}\right) + \frac{1}{2} M X g dt = 0 \quad (4)$$

$$\Sigma m d\left(\frac{dV''}{dt}\right) + \frac{1}{2} M Y g dt = 0 \quad (5).$$

Setzt man:

$$X = U \sin \psi, \quad Y = -U \cos \psi;$$

und ferner:

$$\Sigma m dV = M dQ^0,$$

$$\Sigma m dV' = M(-\sin \psi dQ + \cos \psi dQ'),$$

$$\Sigma m dV'' = M(+\cos \psi dQ + \sin \psi dQ'),$$

so ist ψ = dem Winkel KAX , den eine auf die Projection der Drehungs-Axe rechtwinkliche Linie AK mit der Coordinaten-Axe AX macht.

Durch Substitution und Reduction erhält man von (Seite 12 des Originals)

$$\left. \begin{aligned} d\frac{dQ^0}{dt} &= 0 \\ d\left[\left(\frac{dQ}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dQ'}{dt}\right)^2\right] &= g U dQ \\ \frac{d^2 Q'}{dt^2} - \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{d\psi}{dt} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Zieht man eine Linie BK' durch den Schwerpunkt B des Kreisels parallel der Linie AK , und eine zweite Axe BX' rechtwinklich auf die Drehungs-Axe, und fest in dem drehenden Körper, so ist die Position eines Punktes P auf dem Umkreis eines Ringes DPC , dessen Mittelpunkt in B liegt, bestimmt durch die Größen:

$$\angle XAK = \psi,$$

$$\angle X'BK' = \varphi,$$

$$\angle X'BP = \lambda,$$

$$\angle ZAZ' = \beta,$$

und durch den Durchmesser des Ringes $= 2r$.

Endlich sey der Abstand des Schwerpunktes B von der Spitze A , oder $AB = a$, so findet man, wenn die ganze

Masse M des Kreisels auf einen unendlich dünnen und schmalen Ringe DPC beschränkt gedacht wird, (Seite 16)

$$\left. \begin{aligned} dQ^0 &= \frac{1}{2} r^2 \cos \beta d\varphi + \frac{1}{2} [r^2 + (a^2 - \frac{1}{2} r^2) \sin \beta] d\psi \\ dQ &= \frac{1}{2} (a^2 + \frac{1}{2} r^2) d\beta \\ dQ' &= \frac{1}{2} r^2 \sin \beta d\varphi - \frac{1}{2} (a^2 - \frac{1}{2} r^2) \sin \beta \cos \beta d\psi \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

wobei hinzugefügt werden muß

$$U = a \sin \beta.$$

Mittelst Integration und Reduction erhält man nun (Seite 22 des Originals)

$$\left. \begin{aligned} r^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) &= C - \frac{r^2}{a^2 + \frac{1}{2} r^2} \cdot \frac{A - C \cos \beta}{\sin^2 \beta} \cdot \cos \beta, \\ \left(\frac{d\psi}{dt} \right) &= \frac{1}{a^2 + \frac{1}{2} r^2} \cdot \frac{A - C \cos \beta}{\sin^2 \beta}, \\ \left(\frac{d\beta}{dt} \right)^2 &= 2g \cdot \frac{a}{a^2 + \frac{1}{2} r^2} (B - \cos \beta) - \frac{(C - A \cos \beta)^2}{(a^2 + \frac{1}{2} r^2)^2 \sin^2 \beta}; \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

A , B und C sind die drei hinzugefügten Constanten.

Diese drei Gleichungen geben die drei Geschwindigkeiten der Umdrehung des Kreisels als Functionen der Neigung B .

- 1) $\left(\frac{d\varphi}{dt} \right)$ um die Axe AZ' , wenn man die Linie BK' als ruhend betrachtet,
- 2) $\left(\frac{d\psi}{dt} \right)$ um die verticale Axe AZ ; und
- 3) $\left(\frac{d\beta}{dt} \right)$ um die Knoten-Linie AK .

Wenn zur Zeit $t=0$ gegeben wird:

$$\left(\frac{d\varphi}{dt} \right) = p, \quad \left(\frac{d\psi}{dt} \right) = 0, \quad \left(\frac{d\beta}{dt} \right) = 0 \quad \text{und} \quad \beta = \beta',$$

so werden diese drei Gleichungen (15) übergehen in:

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) &= p \left[1 - \frac{r^2}{a^2 + \frac{1}{2} r^2} \cdot \frac{\cos \beta}{\sin^2 \beta} (\cos \beta' - \cos \beta) \right] \\ \left(\frac{d\psi}{dt} \right) &= p \cdot \frac{r^2}{a^2 + \frac{1}{2} r^2} \cdot \frac{\cos \beta' - \cos \beta}{\sin^2 \beta} \\ \left(\frac{d\beta}{dt} \right)^2 &= p^2 \cdot \frac{r^4}{(a^2 + \frac{1}{2} r^2)^2} \left[2g \cdot \frac{a(a^2 + \frac{1}{2} r^2)}{r^4 p^2} - \frac{\cos \beta' - \cos \beta}{\sin^2 \beta} \right] \\ &\quad \times (\cos \beta' - \cos \beta) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Da

Da nun $\left(\frac{d\beta}{dt}\right)^2$ stets einen positiven Werth hat, so muß das zweite Glied auch positiv seyn, und daher hat man zwei Erfordernisse, wenn α positiv ist (Seite 24 d. O.)

$$\cos \beta < \cos \beta',$$

$$\text{und} \quad \cos \beta > \cos \beta' - 2g \frac{\alpha(a^2 + \frac{1}{2}r^2)}{r^4 p^2} \sin^2 \beta.$$

Hieraus geht hervor, daß, wenn die Geschwindigkeit der Rotation p sehr groß ist, die Neigung β zwischen enge Gränzen beschränkt seyn muß. Die Axe des Kreisels kann daher wohl eine etwas größere Neigung als in der ursprünglichen Lage annehmen, aber nicht umstürzen, sondern muß sich bald wieder aufrichten.

Da ferner $\cos \beta - \cos \beta'$ positiv bleibt, so ist auch stets $\left(\frac{d\psi}{dt}\right)$ positiv, das heißt: die Knoten-Linie AK versetzt sich in die nämliche Richtung als worin die Rotation des Kreisels fortgeht.

Die Bewegung eines Punktes der Axe des Kreisels ist in Taf. III Fig. 6 versinnlicht, in Uebereinstimmung mit Fig. 8, worin die beiden Pfeilchen die Richtungen der Rotation des Kreisels um seine Axe, und der Fortschreitung der Knoten-Linie, oder auch der Projection der Axe nachweisen.

Wenn α negativ ist, hat man dagegen (Seite 25 d. O.)

$$\cos \beta > \cos \beta',$$

$$\text{und} \quad \cos \beta < \cos \beta' + 2g \frac{\alpha(a^2 + \frac{1}{2}r^2)}{r^4 p^2} \sin^2 \beta.$$

Die Axe bleibt nun stets höher als in der ursprünglichen Lage, aber kann sich nicht mehr als eine kleine Größe erheben. $\left(\frac{d\psi}{dt}\right)$ ist positiv geworden, und die Knoten-Linie hat also eine rückläufige Bewegung. Ein Punkt der Axe des Kreisels beschreibt nun eine Reihe von gebogenen Linien wie in Fig. 7 vorgestellt ist. Fig. 9 ist für diesen Fall die Abbildung eines Kreisels, woran der Schwerpunkt niedriger liegt als die Spitze. Die Richtung der Rotation

und der Fortschreitung der Projection der Axe sind durch die Pfeilchen nachgewiesen.

Ist endlich $\alpha = 0$, so ist auch stets $\beta - \beta'$ und $\left(\frac{d\psi}{dt}\right) = 0$; also hat der Kreisel in diesem Falle in jeder Richtung eine bleibende Stellung, was überdies klar ist.

Setzt man $\beta = 90^\circ$, und $\beta = \beta' + \alpha$ (Seite 26 d. O.), und zur Abkürzung,

$$2g \cdot \frac{a(a^2 + \frac{1}{2}r^2)}{r^4 p^2} = \delta = \text{einer kleinen Gröfse,}$$

so hat man:

$$\left(\frac{d\beta}{dt}\right)^2 = \frac{r^4 p^2}{(a^2 + \frac{1}{2}r^2)^2} \left(\delta - \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha}\right) \sin \alpha,$$

deshalb muß auch nun stets α eine kleine Gröfse bleiben. Die Axe des Kreisels hält sich also stets in einer beinahe horizontalen Stellung, und die Projection der Axe geht fort in der nämlichen Richtung als die Punkte des niedrigsten Theil des Kreisels. Fig. 9 Taf. III. giebt die Vorstellung dieses Falles. Die Spitze A liegt in einer Gabel, welche sich in horizontaler Richtung drehen kann.

Durch eine annähernde Integration (Seite 27, 28, 29) findet man noch, wenn gesetzt wird

$$\delta = 2g \frac{a(a^2 + \frac{1}{2}r^2)}{r^4 p^2}, \text{ wie oben, und } i = p \cdot \frac{r^2}{a^2 + \frac{1}{2}r^2} \sqrt{1 - \frac{1}{2}\delta \cos \beta},$$

$$\beta = \beta' + \frac{\delta \sin \beta'}{2 - \delta \cos \beta'} [1 - \cos(it + c)] \dots (17)$$

$$\psi = \frac{1}{2}\delta [it - \sin(it + c)] + \text{const} \dots (18)$$

und für die Coordinaten $AP = x$, $PZ' = y$ der Curve Fig. 6, wenn $c = 0$ genommen wird, erhält man,

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{1}{2}\delta \sin \beta' (it + \sin it) \\ y &= \frac{1}{2}\delta \sin \beta' (1 - \cos it) \end{aligned} \right\} \dots (19)$$

woraus folgt, daß die Curve Fig. 6 sehr nahe mit einer Cycloide übereinstimmend ist.

Alles dieses ist auch durch Versuche nachgewiesen worden und völlig bestätigt. Es geht daraus hervor, daß die Axe eines sich geschwind drehenden Körpers, wenn sie

eine Hauptaxe ist, in einem einzigen Punkte unterstützt werden kann, und daß sie dann ihre Neigung gegen eine horizontale Ebene wenig ändernd eine *gesahnte Kegelfläche* beschreiben wird.

IX. Herleitung der Cauchy'schen Reflexionsformeln für durchsichtige Mittel; von Beer in Bonn.

Bekanntlich hat Cauchy bereits im Jahre 1839 die merkwürdigen Reflexionsformeln mitgetheilt, welche durch die schönen experimentellen Untersuchungen Jamins in den Jahren 1848 und 1851 eine so schlagende Bestätigung gefunden haben. Auch über die Begründung der erwähnten Formeln finden sich an verschiedenen Stellen Notizen von Cauchy; soviel wir aber wissen ist der vollständige Calcul nicht in die Oeffentlichkeit getreten. Wir sind daher überzeugt, einem vielseitigen Wunsche zu entsprechen, indem wir hier denselben aus den von Cauchy angenommenen Prämissen in allen seinen Einzelheiten durchführen. Dabei werden wir die von Cauchy angenommene symbolische Schreibart *nicht* anwenden; unserer Ansicht nach gewährt sie höchstens einen formellen Vortheil. Im Voraus machen wir auch noch darauf aufmerksam, daß wir die zur Sprache kommenden Größen mitunter anders und für uns bequemer bezeichnen als Cauchy; die in den Endformeln vorkommenden Zeichen werden jedoch dieselbe Bedeutung wie in den Formeln Cauchy's haben.

Man habe zwei für transversale Schwingungen vollkommen durchsichtige isotrope Mittel, M und M' , von denen das letztere optisch dichter sey, und die durch eine Ebene getrennt sind. In dem ersten Mittel bewegen sich ebene Lichtwellen von homogener Farbe nach der Trennungsfläche hin; hier werden sie gespiegelt und gebrochen. Dabei erlangen die gespiegelten und gebrochenen Wellen

dieselbe Oscillationsdauer (Farbe) wie die einfallenden Wellen, und zwischen den Richtungen der drei Wellensysteme finden die durch das Spiegelungs- und Brechungsgesetz ausgesprochenen Relationen statt. Was die Intensitätsverhältnisse der drei Systeme betrifft, so werden sich diese durch die an der Gränze beider Mittel bestehenden Bedingungen bestimmen. Es muß nun angenommen werden, daß der Ausschlag eines Theilchens der Trennungsfläche, wie er aus der Bewegung in M resultirt, genau derselbe ist wie der, welcher sich aus der Bewegung in M' ergibt, sowie ferner, daß der Ort von Aethertheilchen, die auf einem Einfallslothe liegen, an der Trennungsfläche keine Unstetigkeit aufweist. Diese Annahme, welche sich von vornherein als die natürlichste aufdrängt, ist, wie wenigstens Haugthon behauptet, nichts anderes als das von Cauchy sogenannte *Princip der Continuität der Bewegung*, nichts anderes als die schon von Lagrange aufgestellten und von Green in der Theorie des Lichtes angewandten Bedingungen für die Gränzen von Körpern. Bezeichnen wir die Componenten der Theilbewegungen eines Punktes der Trennungsfläche im ersten Mittel durch ξ, η, ζ , im zweiten durch ξ', η', ζ' , und nehmen wir das Einfallslot zur z -Axe eines rechtwinkligen Coordinatensystemes, so besteht der mathematische Ausdruck für die erwähnten Bedingungen in folgenden Gleichungen:

$$\begin{array}{lll} 1) S\xi = S\xi', & 2) S\eta = S\eta', & 3) S\zeta = S\zeta', \\ 4) S\frac{d\xi}{dz} = S\frac{d\xi'}{dz}, & 5) S\frac{d\eta}{dz} = S\frac{d\eta'}{dz}, & 6) S\frac{d\zeta}{dz} = S\frac{d\zeta'}{dz}. \end{array}$$

Es fragt sich nun, welches die Theilbewegungen im ersten und zweiten Mittel sind. Der Erfolg zeigt, daß sie nicht bloß in den Bewegungen des einfallenden, gespiegelten und gebrochenen Strahles bestehen. Man ist vielmehr genöthigt neben jenen Strahlen noch zwei neue Strahlen anzunehmen, von denen der eine in M , der andere in M' sich befindet. Die Annahmen über diese Strahlen finden sich eingeeengt durch die nothwendigen Bedin-

gungen, daß die Bewegung dieser Strahlen sich mit der Natur des isotropen Mittels vereinbare, sowie daß sie in merklicher Entfernung von der Trennungsfläche wenigstens für den Sinn verschwinden. Da aber hierdurch keineswegs schon die Strahlen vollkommen bestimmt sind, so sieht man leicht ein, daß verschiedene Annahmen über dieselben möglich sind, die, in die Gleichungen 1 bis 6 aufgenommen, zwar untereinander verschiedene, aber doch wieder mit der Erfahrung innerhalb der Fehlergrößen übereinstimmende Intensitätsformeln liefern. Und in der That hat Haugthon neulich erst nachgewiesen, daß die Annahme Green's, des Erfinders jener Strahlen, nach gehöriger Modification Formeln liefert, die sich den Beobachtungen Jamin's vollständig anschließen. Cauchy hat die soeben besprochenen Strahlen *verschwindende Strahlen* genannt. Seine Annahme über dieselben, deren Begründung er übrigens noch nicht veröffentlicht hat, nehmen wir zunächst in die folgenden Gleichungen, welche die Ausschläge und Componenten der Strahlen darstellen, auf, und sprechen dann nachträglich über die Beschaffenheit der fraglichen verschwindenden Strahlen.

Erstens. Indem wir zuvörderst die mit der Einfallsebene parallelen Oscillation betrachten, legen wir die x -Axe unseres Coordinatensystemes in die Einfallsebene und bezeichnen den Einfallswinkel mit i , den Brechungswinkel mit r , sowie die Wellenlänge und Geschwindigkeit im ersten und zweiten Mittel durch λ , v und λ' , v' . Alle auf die einfallende, reflectirte und refringirte Welle bezüglichen Attribute werden wir respective durch i , l und r markiren. Ferner setzen wir die Phase der Oscillationen des gebrochenen Strahles gleich Null. Wenn alsdann die Normale der einfallenden Welle in den Quadranten $(+Z)$ $(-X)$ zu liegen kommt, so schreiben sich, unter ρ die Ausschläge, unter a die Amplituden verstanden, die Gleichungen der drei zuerst erwähnten Strahlen wie folgt:

$$\varrho_i = a_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + J \right], \quad \varrho_l = a_l \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_l) + L \right],$$

$$\varrho_r = a_r \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda'} (\nu' t - E_r) \right].$$

Unter E_i , E_l , E_r verstehen wir aber die Ausdrücke:

$$-z \cos i + x \sin i, \quad z \cos i + x \sin i,$$

$$-z \cos r + x \sin r,$$

und es sind $E_i = 0$, $E_l = 0$, $E_r = 0$ die Gleichungen der drei Wellenebenen.

Bezeichnen wir ferner den verschwindenden Strahl im ersten und zweiten Mittel durch die Marke s und s' und seine Attribute durch deutsche Buchstaben, so haben wir nach dem Obigen und nach Cauchy's Annahmen über den verschwindenden Strahl, zur Bestimmung der Componenten-Ausschläge aller Strahlen folgende Gleichungen.

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi_i = a_i \cos i \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + J \right], \\ \xi_l = a_l \cos i \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_l) + L \right], \\ \xi_s = p e^{-\alpha} \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{l} (\nu t - x \sin i) + S \right], \\ \xi_r = a_r \cos r \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda'} (\nu' t - E_r) \right], \\ \xi_{s'} = p' e^{-\alpha'} \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{l'} (\nu' t - x \sin i') + S \right] \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \zeta_i = a_i \sin i \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + J \right], \\ \zeta_l = -a_l \sin i \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_l) + L \right], \\ \zeta_s = p e^{-\alpha} \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{l} (\nu t - x \sin i) + S \right], \\ \zeta_r = a_r \sin r \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda'} (\nu' t - E_r) \right], \\ \zeta_{s'} = p' e^{-\alpha'} \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{l'} (\nu' t - x \sin i') + S \right] \end{array} \right\}$$

Aus den Gleichungen für die Componenten der verschwindenden Strahlen ersehen wir, daß dieselben sich

parallel der Trennungsfläche in der Richtung $(-X)(+X)$ fortpflanzen. Auf jeder mit der Trennungsfläche parallelen Ebene ist die Intensität in Bezug auf jeden derselben constant, dahingegen nimmt sie nach dem bekannten Absorptionsgesetze ab, wenn man sich von jener Fläche, sey es in dem ersten oder zweiten Mittel, entfernt. Ein Aethertheilchen, welches von einem verschwindenden Strahle allein afficirt wird, beschreibt eine elliptische Bahn, deren Axen den Axen der x und der z parallel sind. Alle diese Eigenschaften schreibt Green auch seinen verschwindenden Strahlen zu; es weicht aber Cauchy von jenem in der Annahme über die Constanten r , c etc. ab. Cauchy setzt nämlich in den Exponenten von e :

$$c = \sqrt{K^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda} \sin i\right)^2} \text{ und } c' = \sqrt{K'^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda'} \sin r\right)^2}.$$

Die Größen c und c' , die sogenannten *Extinctionscoefficienten* der verschwindenden Strahlen, welche die mehr oder minder starke Absorption derselben bestimmen, sind hiernach von dem Einfallswinkel abhängig, und hierin eben liegt das Eigenthümliche der Cauchy'schen Theorie. Die Constanten K und K' , welche in den Ausdrücken für c und c' vorkommen, sind die Extinctionscoefficienten für die senkrechte Incidenz, wir werden dieselben in der Folge vorzugsweise Extinctionscoefficienten nennen.

Damit die Bewegungen in den Mitteln M und M' an der Trennungsfläche überhaupt übereinstimmen können (Cauchy's Princip der Correspondenz der Bewegungen) muß man, wie leicht einzusehen, setzen:

$$\frac{v}{\lambda} = \frac{v}{\lambda} = \frac{v'}{\lambda'} = \frac{v'}{\lambda'} \text{ und } \frac{\sin i}{\lambda} = \frac{\sin i}{\lambda} = \frac{\sin r}{\lambda'} = \frac{\sin r'}{\lambda'}.$$

Die erste dieser Gleichungsgruppen ist der Ausdruck für die Beständigkeit der Oscillationsdauer und dehnt diese auch auf die verschwindenden Strahlen aus. Die zweite Gleichungsgruppe, welche das Brechungs- und Spiegelungsgesetz einhüllt, sagt aus, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Oscillationszustandes in der Richtung der brechenden Fläche für sämtliche Strahlen dieselbe ist.

Nach diesen Vorbemerkungen wollen wir jetzt zur Bildung der an der Spitze stehenden Gleichungen für unseren Fall schreiten. Wenn wir die Ausdrücke $\frac{2\pi}{\lambda}(\vartheta t - x \sin i)$, $\frac{2\pi}{\lambda'}(\vartheta' t - x \sin i')$ und $\frac{2\pi}{\lambda''}(\vartheta'' t - x \sin i'')$, die nach dem Obigen für denselben Werth von x und t gleich sind, durch V bezeichnen, so finden wir zunächst für die Punkte der Trennungsfläche folgende Werthe der Ausschläge und ihrer zur Sprache kommenden Differentialquotienten:

$\xi_i = a_i \cos i \sin(V+J)$	$\zeta_i = a_i \sin i \sin(V+J)$
$\xi_l = a_l \cos i \sin(V+L)$	$\zeta_l = -a_l \sin i \sin(V+L)$
$\xi_s = \mathfrak{x} \cos(V+S)$	$\zeta_s = \mathfrak{y} \sin(V+S)$
$\xi_r = a_r \cos r \sin V$	$\zeta_r = a_r \sin r \sin V$
$\xi_{r'} = \mathfrak{x}' \cos(V+S)$	$\zeta_{r'} = \mathfrak{y}' \sin(V+S)$
$\frac{d\xi_i}{dx} = \frac{2\pi}{\lambda} a_i \cos i^2 \cos(V+J)$	$\frac{d\zeta_i}{dx} = \frac{2\pi}{\lambda} a_i \sin i \cos i \cos(V+J)$
$\frac{d\xi_l}{dx} = -\frac{2\pi}{\lambda} a_l \cos i^2 \cos(V+L)$	$\frac{d\zeta_l}{dx} = \frac{2\pi}{\lambda} a_l \sin i \cos i \cos(V+L)$
$\frac{d\xi_s}{dx} = -\mathfrak{x} c \cdot \cos(V+S)$	$\frac{d\zeta_s}{dx} = -\mathfrak{y} c \cdot \sin(V+S)$
$\frac{d\xi_r}{dx} = \frac{2\pi}{\lambda'} a_r \cos r^2 \cos V$	$\frac{d\zeta_r}{dx} = \frac{2\pi}{\lambda'} a_r \sin r \cos r \cos V$
$\frac{d\xi_{r'}}{dx} = \mathfrak{x}' c' \cdot \cos(V+S)$	$\frac{d\zeta_{r'}}{dx} = \mathfrak{y}' c' \cdot \sin(V+S)$

Hiernach schreiben sich die für unseren Fall geltenden Gleichungen 1, 3, 2 und 6, welche die Stetigkeit der Bewegung ausdrücken, wie folgt:

- I. $a_i \cos i \sin(V+J) + a_l \cos i \sin(V+L) + \mathfrak{x} \cos(V+L) = a_r \cos r \sin(V) + \mathfrak{x}' \cos(V+L)$
- II. $a_i \sin i \sin(V+J) - a_l \sin i \sin(V+L) + \mathfrak{y} \sin(V+L) = a_r \sin r \sin(V) + \mathfrak{y}' \sin(V+L)$
- III. $\frac{2\pi}{\lambda} a_i \cos i^2 \cos(V+J) - \frac{2\pi}{\lambda} a_l \cos i^2 \cos(V+L) - \mathfrak{x} c \cdot \cos(V+S) = \frac{2\pi}{\lambda'} a_r \cos r^2 \cos(V) + \mathfrak{x}' c' \cdot \cos(V+S)$

$$\text{IV. } \frac{2\pi}{\lambda} a_i \sin i \cos i \cos(V+J) + \frac{2\pi}{\lambda} a_i \sin i \cos i \cos(V+L) \\ - \frac{1}{2} c \cdot \sin(V+S) = \frac{2\pi}{\lambda'} a_r \sin r \cos r \cos(V) \\ + \frac{1}{2} c' \sin(V+S).$$

Damit nun diese Gleichungen für jeden Werth von t und x , d. h. zu jeder Zeit und für jeden Punkt der Trennungsfläche bestehen, ist nothwendig und hinreichend, daß sie für die Werthe 0 und $\frac{\pi}{2}$ von V gelten. Wir setzen daher in eine jede der Gleichungen diese Werthe der Reihe nach ein und erhalten so, wenn wir noch setzen:

$$a_i \sin J = u_i, \quad a_i \cos J = v_i, \quad a_i \sin L = u_i, \quad a_i \cos L = v_i,$$

$$\text{und:} \quad \frac{2\pi}{\lambda} \cos i = \mu, \quad \frac{2\pi}{\lambda'} \cos r = \mu',$$

die folgenden Gleichungen:

- 1) $\cos i (u_i + u_i) + (x - x') \cos S = 0$
- 2) $\cos i (v_i + v_i) - (x - x') \sin S = a_r \cos r$
- 3) $\sin i (u_i - u_i) + (\frac{1}{2}c - \frac{1}{2}c') \sin S = 0$
- 4) $\sin i (v_i - v_i) + (\frac{1}{2}c - \frac{1}{2}c') \cos S = a_r \sin r$
- 5) $\mu \cos i (u_i - u_i) - (x c + x' c') \sin S = 0$
- 6) $\mu \cos i (v_i - v_i) - (x c + x' c') \cos S = \mu' a_r \cos r$
- 7) $\mu \sin i (u_i + u_i) + (\frac{1}{2}c + \frac{1}{2}c') \cos S = 0$
- 8) $\mu \sin i (v_i + v_i) - (\frac{1}{2}c + \frac{1}{2}c') \sin S = \mu' a_r \sin r.$

Diese acht Gleichungen sind es, welche die Intensitäts- und Phasenverhältnisse bestimmen. Um dieselben aufzulösen, setzen wir:

$$x \sin S = u, \quad x \cos S = v, \quad \frac{x - x'}{x} = \alpha, \quad \frac{\frac{1}{2}c - \frac{1}{2}c'}{x} = \beta, \\ \frac{x c + x' c'}{x} = \gamma \quad \text{und} \quad \frac{\frac{1}{2}c + \frac{1}{2}c'}{x} = \delta.$$

Durch Elimination von u und v finden wir nun zunächst

$$\text{aus 1 und 4: } (u_i + u_i) \beta \cos i - (v_i - v_i) \alpha \sin i = -a_r \sin r \cdot \alpha$$

$$\text{aus 6 und 7: } (u_i + u_i) \gamma \mu \sin i + (v_i - v_i) \delta \mu \cos i = \mu' a_r \cos r \cdot \delta$$

$$\text{aus 2 und 3: } (u_i - u_i) \alpha \sin i + (v_i + v_i) \beta \cos i = a_r \cos r \cdot \beta$$

$$\text{aus 5 und 8: } (u_i - u_i) \delta \mu \cos i - (v_i + v_i) \gamma \mu \sin i = \\ -\mu' a_r \sin r \cdot \gamma.$$

Wir entwickeln nun ferner aus den letzten Gleichungen die Werthe der eingeklammerten Größen und finden:

$$u_i + u_r = \frac{\alpha \delta [-\mu \sin r \cos i + \mu' \cos r \sin i]}{\mu [\beta \delta \cos i^2 + \alpha \gamma \sin i^2]} a_r, \quad \text{oder}$$

$$u_i + u_r = \frac{\alpha \delta [-\mu \sin r \cos i + \mu' \cos r \sin i]}{N} a_r,$$

$$u_i - u_r = \frac{\beta \gamma [\mu \cos r \sin i - \mu' \cos i \sin r]}{N} a_r,$$

$$v_i + v_r = \frac{\beta \delta \mu \cos r \cos i + \alpha \gamma \mu' \sin r \sin i}{N} a_r,$$

$$v_i - v_r = \frac{\beta \delta \mu' \cos r \cos i + \alpha \gamma \mu \sin r \sin i}{N} a_r.$$

Mit Rücksicht auf die Bedeutung von μ und μ' findet man hieraus:

$$u_i = \frac{2\pi}{\lambda \sin r} \frac{[\alpha \delta \sin(i+r) \sin(i-r)]}{N} \cdot \frac{1}{2} a_r = \frac{V_i}{N} \cdot \frac{1}{2} a_r,$$

$$v_i = \frac{2\pi}{\lambda \sin r} \frac{[\alpha \gamma \sin i \sin r + \beta \delta \cos i \cos r]}{N} \sin(i+r) \cdot \frac{1}{2} a_r = \frac{V_i}{N} \cdot \frac{1}{2} a_r,$$

$$u_r = \frac{2\pi}{\lambda \sin r} \frac{[\alpha \delta \sin(i+r) \sin(i-r)]}{N} \cdot \frac{1}{2} a_r = \frac{U_i}{N} \cdot \frac{1}{2} a_r,$$

$$v_r = \frac{2\pi}{\lambda \sin r} \frac{[\alpha \gamma \sin i \sin r - \beta \delta \cos i \cos r]}{N} \sin(i-r) \cdot \frac{1}{2} a_r = \frac{V_i}{N} \cdot \frac{1}{2} a_r.$$

Man hat aber den gemachten Unterstellungen gemäß:

$$a_i^2 = u_i^2 + v_i^2, \quad a_r^2 = u_r^2 + v_r^2,$$

$$\tan J = \frac{u_i}{v_i}, \quad \tan L = \frac{u_r}{v_r},$$

sohin ist:

$$\tan J = \frac{U_i}{V_i}, \quad \tan L = \frac{U_i}{V_i},$$

$$a_i^2 = \frac{U_i^2 + V_i^2}{N^2} \cdot \frac{1}{4} a_r^2, \quad a_r^2 = \frac{U_i^2 + V_i^2}{N^2} \sin^2(i+r) \cdot \frac{1}{4} a_r^2.$$

Aus den beiden letzten Gleichungen findet man noch:

$$a_i^2 = \frac{U_i^2 + V_i^2}{U_i^2 + V_i^2} \cdot a_i^2, \quad a_r^2 = \frac{4N^2}{U_i^2 + V_i^2} \cdot a_i^2.$$

Setzen wir jetzt für U_i etc. ihre Ausdrücke, so ergibt sich nach einigen einfachen Reductionen:

$$\operatorname{tang} J = \frac{\sin(i-r)}{\frac{\beta}{\alpha} \cos i \cos r + \frac{\delta}{\gamma} \sin i \sin r}$$

$$\operatorname{tang} L = \frac{-\sin(i+r)}{\frac{\beta}{\alpha} \cos i \cos r - \frac{\delta}{\gamma} \sin i \sin r}$$

$$a_i^2 = \frac{\sin(i+r)^2 \sin(i-r)^2 + \sin(i-r)^2 \left(\frac{\beta}{\alpha} \cos i \cos r - \frac{\gamma}{\delta} \sin i \sin r \right)^2}{\sin(i+r)^2 \sin(i-r)^2 + \sin(i+r)^2 \left(\frac{\beta}{\alpha} \cos i \cos r - \frac{\gamma}{\delta} \sin i \sin r \right)^2} \cdot a_i^2$$

$$a_r^2 = \frac{4 \sin r^2 \cos i^2 \left(\frac{\beta}{\alpha} \cos i^2 + \frac{\gamma}{\delta} \sin i^2 \right)^2}{\sin(i+r)^2 \sin(i-r)^2 + \sin(i+r)^2 \left(\frac{\beta}{\alpha} \cos i \cos r + \frac{\gamma}{\delta} \sin i \sin r \right)^2} \cdot a_i^2$$

In den so erhaltenen Ausdrücken kommen aber noch die Verhältnisse $\frac{\beta}{\alpha}$ und $\frac{\gamma}{\delta}$ vor, welche von den Amplituden $r \dots i$ abhängen. Diese müssen also jetzt vor allem betrachtet werden. Gehen wir zu dem Ende auf unsere acht Grundgleichungen zurück, so liefern die erste und dritte, da man $U_i = U_r$, $u_i = u_r$ hat:

$$\frac{u}{v} = \operatorname{tang} S = 0.$$

Es ist also für S einer der Werthe $\pm \pi$, 0 zu setzen, welcher von ihnen gilt gleich, da sich der gemachten Annahme gemäß r etc. nachträglich bestimmen. Wir wollen $S=0$ setzen; alsdann gehen unsere acht Grundgleichungen in die folgenden über:

- 1) $\cos i(u_i + u_r) + \alpha v = 0$
- 2) $\cos i(v_i + v_r) = \alpha \cos r$
- 3) $\sin i(u_i - u_r) = 0$
- 4) $\sin i(v_i - v_r) + \beta v = \alpha \sin r$
- 5) $\mu \cos i(u_i - u_r) = 0$
- 6) $\mu \cos i(v_i - v_r) - \gamma v = \mu' \alpha \cos r$
- 7) $\mu \sin i(u_i + u_r) + \delta v = 0$
- 8) $\mu \sin i(v_i + v_r) = \mu' \alpha \sin r$

In Folge des eigenthümlichen Baues dieser Gleichungen lassen sich aus denselben zur Bestimmung von $r \dots i$ nur

zwei Gleichungen ableiten; es sind dies die beiden folgenden:

$$(\xi c + \xi' c') - \frac{2\pi}{\lambda} \sin i (x - x') = 0,$$

$$\sin i (x c + x' c') + \frac{2\pi}{\lambda} \cos i^2 (\xi - \xi') - 2\pi \left(\frac{\cos r^2 \sin r}{\lambda} + \frac{\cos r'^2 \sin i}{\lambda'} \right) a_r = 0.$$

Diesem Ergebnisse zu Folge leuchtet ein, dass man, ohne gegen die Gleichungen 1 bis 8 zu verstossen, setzen könne:

$$x = (x) a_r, \quad x' = (x') a_r, \quad \xi = (\xi) a_r, \quad \xi' = (\xi') a_r,$$

und dabei nur die Grössen $(x) \dots (\xi')$ so zu wählen hat, dass sie der ersten von den beiden zuletzt abgeleiteten Gleichungen genügen. Dies ist der Fall, wenn man mit Cauchy setzt:

$$(x) = \frac{2\pi}{\lambda} \sin i \cdot \frac{K'}{K}, \quad (\xi) = \sqrt{K^2 + \left(\frac{2\pi \sin i}{\lambda} \right)^2} \cdot \frac{K'}{K},$$

$$(x') = \frac{2\pi}{\lambda'} \sin r \cdot \frac{K'}{K}, \quad (\xi') = - \sqrt{K'^2 + \left(\frac{2\pi \sin r}{\lambda'} \right)^2} \cdot \frac{K'}{K}.$$

Wir finden dann ferner:

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\xi - x'}{x - x'} = \frac{\sqrt{K^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda} \sin i \right)^2} \cdot \frac{K'}{K} + \sqrt{K'^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda'} \sin r \right)^2} \cdot \frac{K'}{K}}{\frac{2\pi}{\lambda} \sin i \cdot \frac{K'}{K} - \frac{2\pi}{\lambda'} \sin r \cdot \frac{K'}{K}}.$$

$$\frac{\gamma}{\delta} = \frac{x c + x' c'}{\xi c + \xi' c'} =$$

$$\frac{\frac{2\pi}{\lambda} \sin i \cdot \frac{K'}{K} \sqrt{K^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda} \sin i \right)^2} + \frac{2\pi}{\lambda'} \sin r \cdot \frac{K'}{K} \sqrt{K'^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda'} \sin r \right)^2}}{\frac{K'}{K} \left[K^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda} \sin i \right)^2 \right] - \frac{K'}{K} \left[K'^2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda'} \sin r \right)^2 \right]}$$

Für die beiden letzten Formeln kann, weil die Absorption der verschwindenden Strahlen so stark ist und somit K und K' zwei selbst im Vergleich mit $\frac{1}{\lambda}$ sehr grosse Zahlen sind, in erster Annäherung gesetzt werden:

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\gamma}{\delta} = \frac{1}{\sin i \left[\frac{2\pi}{\lambda K} - \frac{2\pi}{\lambda' K'} \right]}.$$

Die sehr kleinen Grössen $\frac{2\pi}{\lambda K}$ und $\frac{2\pi}{\lambda' K'}$ wollen wir bezüg-

lich durch l und l' , ihre Differenz durch ϵ bezeichnen, so dafs wir also haben:

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\gamma}{\delta} = -\frac{1}{\sin i (l' - l)} = -\frac{1}{\epsilon \sin i}.$$

Dieser Beziehung zufolge vereinfachen sich nun die weiter oben gefundenen Formeln für $\tan J \dots a$, bedeutend. Dieselben gehen nämlich nach der Substitution des Werthes von $\frac{\beta}{\alpha}$, $\frac{\gamma}{\delta}$ und nach einigen einfachen sich von selbst darbietenden Umformungen in folgende über:

$$\begin{aligned}\tan J &= \epsilon \sin i \tan(i - r), \\ \tan L &= -\epsilon \sin i \tan(i + r),\end{aligned}$$

$$a_i'^2 = \frac{\tan(i - r)^2 + \epsilon^2 \sin^2 i \tan(i - r)^2 \tan(i + r)^2}{\tan(i + r)^2 + \epsilon^2 \sin^2 i \tan(i + r)^2 \tan(i - r)^2} a_i^2$$

$$a_r'^2 = \frac{4 \sin^2 r \cos^2 i}{\sin(i + r)^2 \cos(i - r)^2 + \epsilon^2 \sin^2 i \sin(i + r)^2 \sin(i - r)^2} a_i^2,$$

und dies sind die Cauchy'schen Formeln für die Phasen- und Intensitätsverhältnisse des reflectirten und gebrochenen Strahles, dessen Polarisationssebene zur Einfallsebene senkrecht steht.

Die in den gefundenen Formeln auftretende Constante ϵ ist der von Jamin sogenannte *Ellipticitätscoefficient*. Verstehen wir unter »absolutem Ellipticitätscoefficient« einer Substanz den Werth von ϵ für eine Brechung aus dem Vacuum in die Substanz, so leuchtet aus dem Obigen der von Jamin wenigstens annäherungsweise bestätigt gefundene Satz ein, *dafs der Ellipticitätscoefficient für eine Brechung aus der Substanz A in die Substanz B gleich ist dem absoluten Ellipticitätscoefficienten von B, vermindert um den absoluten Ellipticitätscoefficienten von A.*

Unserer Bezeichnung gemäß bedeuten J und L die Phasen des einfallenden und gespiegelten Strahles, wenn die des gebrochenen gleich Null gesetzt wird. Nehmen wir aber andererseits die Phase des einfallenden Strahles gleich Null, so sind die des gespiegelten und gebrochenen Strahles $L = L - J$, $R = -J$, und wir haben:

$$L = -\arctang[\varepsilon \sin i \tan(i+r)] - \arctang[\varepsilon \sin i \tan(i-r)]$$

$$R = -\arctang[\varepsilon \sin i \tan(i-r)],$$

oder auch:

$$\tan L = \frac{-\varepsilon \sin i [\tan(i+r) + \tan(i-r)]}{1 - \varepsilon^2 \sin^2 i \tan(i+r) \tan(i-r)},$$

$$\tan R = -\varepsilon \sin i \tan(i-r).$$

Bemerken wir aber, daß der Werth von a_i negativ wird, sobald $i+r > \frac{\pi}{2}$. Es verhält sich hiernach die Sache so, als ob die Phase von a_i alsdann nicht L , sondern $L - \pi$ und a_i positiv wäre. Ist hiernach, um die gewonnenen Resultate zusammenzufassen, für Schwingungen, die der Einfallsebene parallel sind, die Gleichung des einfallenden Strahles

$$q_i = a_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) \right],$$

so sind die des reflectirten und gebrochenen Strahles

$$q_i = a_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + L \right], \quad q_r = a_r \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_r) + R \right],$$

wenn man L und R so bestimmt, daß man hat:

$$\frac{\varepsilon \sin i [\tan(i+r) + \tan(i-r)]}{1 - \varepsilon^2 \sin^2 i \tan(i+r) \tan(i-r)} = \begin{cases} \tan(L - \pi), & \text{wenn } i+r < \frac{\pi}{2} \\ \tan L, & \text{wenn } i+r > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$\varepsilon \sin i \tan(i-r) = \tan(R - \pi).$$

Dabei sind für a_i und a_r die aus folgenden Gleichungen sich ergebenden positiven Werthe einzusetzen:

$$a_i^2 = \frac{\tan(i-r)^2 + \varepsilon^2 \sin^2 i \tan(i-r)^2 \tan(i+r)^2}{\tan(i+r)^2 + \varepsilon^2 \sin^2 i \tan(i+r)^2 \tan(i-r)^2} a_i^2,$$

$$a_r^2 = \frac{4 \sin^2 r \cos^2 i}{\sin(i+r)^2 \cos(i-r)^2 + \varepsilon^2 \sin^2 i \sin(i+r)^2 \sin(i-r)^2} a_i^2.$$

Was endlich die verschwindenden Strahlen betrifft, so finden wir aus der ersten unserer acht Grundgleichungen mit Rücksicht auf den Umstand, daß $S=0$ ist:

$$\begin{aligned}
 v^2 &= r^2 = \frac{(u_i + u_i)^2 \cos^2 i}{\alpha^2} \\
 &= \frac{1}{4} a_i^2 \left[\frac{U_i + U_i}{N} \right]^2 \frac{\cos^2 i}{\alpha^2} \\
 &= \frac{[U_i + U_i]^2}{U_i^2 + V_i^2} \cdot \frac{\cos^2 i}{\alpha} a_i^2.
 \end{aligned}$$

Hieraus und aus den Beziehungen $r = r \cdot \frac{K^2}{K'^2}$, $\delta = r \cdot \frac{\lambda c}{2\pi \sin i}$ und $\delta' = -r' \cdot \frac{\lambda' c'}{2\pi \sin r'}$ ergibt sich:

$$r^2 = \frac{4 \varepsilon^2 \sin^2 i \cos^2 i \sin(i-r)^2}{\cos(i-r)^2 + \varepsilon^2 \sin^2 i \sin(i-r)^2} \cdot \frac{K^4}{(K^2 - K'^2)^2} \cdot a_i^2$$

$$r'^2 = \frac{4 \varepsilon^2 \sin^2 i' \cos^2 i' \sin(i'-r')^2}{\cos(i'-r')^2 + \varepsilon^2 \sin^2 i' \sin(i'-r')^2} \cdot \frac{K'^4}{(K'^2 - K^2)^2} \cdot a_i'^2$$

$$\delta^2 = \frac{4 \varepsilon^2 \cos^2 i \sin^2 i \sin(i-r)^2}{\cos(i-r)^2 + \varepsilon^2 \sin^2 i \sin(i-r)^2} \cdot K'^2 \cdot \frac{K^2 + \left(\frac{2\pi \sin i}{\lambda} \right)^2}{l^2 (K^2 - K'^2)^2} \cdot a_i^2,$$

$$\delta'^2 = \frac{4 \varepsilon^2 \cos^2 i' \sin^2 i' \sin(i'-r')^2}{\cos(i'-r')^2 + \varepsilon^2 \sin^2 i' \sin(i'-r')^2} \cdot K^2 \cdot \frac{K'^2 + \left(\frac{2\pi \sin i'}{\lambda'} \right)^2}{l'^2 (K'^2 - K^2)^2} \cdot a_i'^2,$$

unter l und l' wiederum die Ausdrücke $\frac{2\pi}{\lambda K}$ und $\frac{2\pi}{\lambda' K'}$ verstanden. Man findet unschwer, wenn man zu den Grundgleichungen zurückkehrt, daß für r das negative Vorzeichen zu wählen ist.

Wenn wir also unter $r \dots \delta'$ die absoluten Werthe der zuletzt gefundenen Ausdrücke verstehen, so erhalten wir, die Phase des einfallenden Strahles in Uebereinstimmung mit dem Früheren gleich Null gesetzt, für die verschwindenden Strahlen die folgenden Gleichungen:

$$\xi_r = -r \cdot e^{-i\pi} \cos \left[\frac{2\pi}{l} (vt - x \sin i) + S \right]$$

$$\zeta_r = -\delta \cdot e^{-i\pi} \sin \left[\frac{2\pi}{l} (vt - x \sin i) + S \right]$$

$$\xi_{r'} = -r' \cdot e^{+i\pi} \cos \left[\frac{2\pi}{l'} (v't - x \sin i') + S \right]$$

$$\zeta_{r'} = +\delta' \cdot e^{+i\pi} \sin \left[\frac{2\pi}{l'} (v't - x \sin i') + S \right],$$

dabei ist:

$$\tan S = \tan(-J) = -\varepsilon \sin i \tan(i-r).$$

Zweitens.

Wir wenden uns jetzt zu dem zweiten der zu Anfang unterschiedenen Fälle, wo nämlich die Oscillationen auf der Einfallsebene senkrecht stehen, also die Polarisations-ebene mit der Einfallsebene zusammenfällt. Unter b die Amplituden verstanden, haben wir hier für die Gleichungen des einfallenden, gespiegelten und gebrochenen Strahles:

$$\xi_i = 0 \quad \eta_i = b_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + J \right] \quad \zeta_i = 0$$

$$\xi_s = 0 \quad \eta_s = b_s \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_s) + L \right] \quad \zeta_s = 0$$

$$\xi_r = 0 \quad \eta_r = b_r \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda'} (\nu' t - E_r) \right] \quad \zeta_r = 0.$$

Man findet hieraus für einen Punkt der Trennungsfläche, also für $z = 0$:

$$\eta_i = b_i \sin(V + J) \quad \frac{d\eta_i}{dz} = \frac{2\pi}{\lambda} b_i \cos i \cos(V + J)$$

$$\eta_s = b_s \sin(V + L) \quad \frac{d\eta_s}{dz} = -\frac{2\pi}{\lambda} b_s \cos i \cos(V + L)$$

$$\eta_r = b_r \sin V \quad \frac{d\eta_r}{dz} = \frac{2\pi}{\lambda'} b_r \cos r \cos V.$$

Nehmen wir nun die in dem Anfange dieser Abhandlung stehenden sechs Bedingungsgleichungen für die Trennungsfläche als nothwendig und hinreichend an, so dürfen wir hier, wo der hinreichende Grund dazu fehlt, die verschwindenden Strahlen nicht einführen, so daß wir also in Uebereinstimmung mit eben jenen Gleichungen zur Bestimmung aller zur Sprache kommenden Verhältnisse einfach die folgenden für jedes t und x zu befriedigenden Gleichungen erhalten:

$$\text{I. } b_i \sin(V + J) + b_s \sin(V + L) = b_r \sin V.$$

$$\text{II. } b_i \frac{\cos i}{\lambda} \cos(V + J) - b_s \frac{\cos i}{\lambda} \cos(V + L) = b_r \frac{\cos r}{\lambda'} \cos V.$$

Setzen wir in der ersten Gleichung $V = 0$, und hierauf in der zweiten $V = \frac{\pi}{2}$, so kommt:

$$b_i \sin J + b_s \sin L = 0 \quad \text{und} \quad b_i \sin J - b_s \sin L = 0.$$

Hier-

Hiernach muß man erstlich setzen:

$$J = L = 0.$$

Ferner ergibt sich aus I. und II. durch die Substitutionen $V = \frac{\pi}{2}$ und $V = 0$ und mit Berücksichtigung der soeben gefundenen Gleichheit der Phasen:

$$b_i + b_r = b, \text{ und } (b_i - b_r) \frac{\cos i}{\lambda} = b_r \frac{\cos r}{\lambda'}.$$

Diese Gleichungen liefern aber das auf unseren Fall bezügliche Paar der Fresnel'schen Formeln. Wenn also

$$\varrho_i = b_i \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\sigma t - E_i)$$

die Gleichung des einfallenden Strahles mit zur Einfallsebene senkrechten Schwingungen ist, so sind die Gleichungen des gespiegelten und gebrochenen Strahles:

$$\varrho_i = b_i \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\sigma t - E_i) \text{ und } \varrho_r = b_r \sin \frac{2\pi}{\lambda'} (\sigma' t - E_r),$$

wenn man hat:

$$b_i = - \frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)} b_r, \quad b_r = \frac{2 \sin r \cos i}{\sin(i+r)} b_i.$$

Verbinden wir diese Resultate mit den früheren, so ergibt sich für das Amplitudenverhältniß der beiden, senkrecht und parallel der Einfallsebene polarisirten, Componenten, welche das durch Reflexion veränderte gewöhnliche Licht oder einen ursprünglich in dem Azimuthe $\frac{\pi}{4}$ schwingenden geradlinig polarisirten und dann durch Reflexion elliptisch polarisirten Strahl zusammensetzen:

$$\frac{a_i^2}{b_i^2} = \frac{\cos(i+r)^2 + \varepsilon^2 \sin^2 i \sin(i+r)^2}{\cos(i-r)^2 + \varepsilon^2 \sin^2 i \sin(i-r)^2},$$

und für den Phasenunterschied δ derselben Componenten:

$$\frac{\varepsilon \sin i [\tan(i+r) + \tan(i-r)]}{1 - \varepsilon^2 \sin^2 i \tan(i+r) \tan(i-r)} = \begin{cases} \tan(\delta - \pi) & \text{für } i+r < \frac{\pi}{2} \\ \tan \delta & \text{für } i+r > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

Dies sind die von Jamin verificirten Formeln.

X. *Die circulare Polarisation des Lichtes durch chlorsaures Natron; von Dr. H. Marbach in Breslau.*

Das chlorsaure Natron zeigt, wie bereits Rammelsberg in diesen Annalen Bd. 90, S. 15 mitgetheilt hat, die Combination parallellflächiger und geneigtflächiger hemiëdrischer Formen, nämlich des Pyritoëders und Tetraëders. Ich habe gefunden, daß diese Krystalle die Polarisations-ebene des Lichtes drehen, bald wie Terpentinöl oder links drehende Bergkrystalle, — bald wie Zucker oder rechts drehende Bergkrystalle. Im Nachfolgenden werde ich darstellen, in welcher Weise dieser optische Gegensatz auch durch die *Krystallisation* ausgedrückt ist.

Der Gegensatz von Links nach Rechts ist im tesseralen Krystallsystem bei den vorkommenden einfachen Krystallformen nicht dargestellt. Bekanntlich sind je zwei hemiëdrische aus derselben holoëdrischen Form entstandene Formen congruent: dieselben werden als rechte und linke Form nur der Stellung nach unterschieden. Die nicht vorkommenden Formen, nämlich die abwechselnde Hemiëdrie des Hexakisoctaëders (das pentagonale Ikositetraëder), sowie die Tetartoëdrie des Hexakisoctaëders (das dreikantige Pentagonal-Dodecaëder, der Halbflächner eines der drei Halbflächner des Achtundvierzigflächners) besitzen allerdings den Gegensatz von Links und Rechts. Eine Combination von zwei geneigtflächigen hemiëdrischen Formen, welche gleichgestellt sind, ist ganz verschieden von der Combination derselben Formen, wenn diese entgegengesetzt gestellt sind. Dasselbe gilt von den Combinationen zweier parallellflächigen hemiëdrischen Formen. Dagegen zeigen Combinationen einer geneigtflächigen mit einer parallellflächigen hemiëdrischen Form den Gegensatz von Links und Rechts, oder den Gegensatz der *symmetrischen Gleichheit*. Ein Pyritoëder mit einem linken Tetraëder

combinirt, ist einem parallelgestellten Pyritoöder, mit einem echten Tetraöder combinirt, gleiche Dimensionen vorausgesetzt, symmetrisch gleich; die eine Combination ist dem Spiegelbilde der anderen congruent; die Combinationen sind bei beiden gleich.

Betrachtet man bei einem (zweikantigen) Pentagondodecaöder je drei Flächen, welche an derselben rhomboëdrischen (gleichkantigen) Ecke liegen, so findet man in denselben einen Gegensatz der Wendung nach Links und Rechts. Fällt man auf die Grundkanten der Fünfecke eines Pentagondodecaöders von dem gegenüberliegenden Winkelpunkten aus Perpendikel, und bezeichnet deren Richtungen gegen die Grundkanten hin durch Pfeile, so liegen je drei der letzteren um eine jede der rhomboëdrischen Ecken gleichgewendet; dieselbe Wendung ergibt sich an denjenigen vier rhomboëdrischen Ecken, welche durch das Auftreten eines Tetraöders zugleich abgestumpft würden; — bei den anderen vier rhomboëdrischen Ecken sind die entsprechenden drei Geraden entgegengesetzt gewendet. Denkt man sich mit dem Kopfe in eine solche Ecke, mit den Füßen in den Mittelpunkt der Krystallform gestellt, so bezeichnen und unterscheiden die erwähnten Geraden die Drehung nach Links oder Rechts. Fig. 10, Taf. IV stellt ein Pentagondodecaöder dar, in welchem die Ecken mit *R* und *L* bezeichnet sind, entsprechend dem erwähnten Gegensatze. Ich erlaube mir im Folgenden »eine *linke Combination* von Pentagondodecaöder und Tetraöder « eine solche zu nennen, bei welcher durch Tetraöderflächen diejenigen Pentagondodecaöder Ecken wegggeschnitten sind, in denen die Perpendikel, auf die Grundkanten gefällt, eine Drehung nach Links darbieten; und dem entsprechend werde ich von einer »*rechten Combination* eines Pentagondodecaöders und Tetraöders sprechen. Es erhellt, daß die Bezeichnung »Rechts « und »Links « durch die Wahl der Richtungen der erwähnten Perpendikel bedingt ist, indem eine Umkehrung dieser Richtungen auch eine Vertauschung jener Ausdrücke erfordern würde; diese Wahl

ist aber durch das optische Verhalten der Krystalle bestimmt. Fig. 12 und 13 stellen linke derartige Combinationen dar. Fig. 11 und 14 sind rechte Combinationen des Pentagondodecaëders und Tetraëders; die eine oder die andere dieser Formen ist in diesen Figuren vorherrschend.

Bei dem dreikantigen Trapezoid-Ikositetraëder ist in Betreff der rhomboëdrischen Ecken derselbe Gegensatz bemerkbar. An denjenigen vier rhomboëdrischen Ecken, welche durch dasselbe Tetraëder abgestumpft werden, bilden die daran liegenden drei Trapezoide congruente Figuren, die den anderen (in den vier anderen Octanten liegenden) Figuren symmetrisch gleich sind. Die oben erwähnten Perpendikel bei den Flächen des Pentagondodecaëders entsprechen bekanntlich Kanten des Trapezoid-Ikositetraëders, und diese Kanten haben dieselben Gegensätze von Links und Rechts, als jene Perpendikel.

Die Krystalle des chlorsauren Natrons, welche ich untersucht habe, haben fast alle Würfelflächen vorherrschend; einige Krystalle zeigen weiter keine Flächen, andere haben Granatoëder- und Tetraëderflächen untergeordnet; später erhielt ich Krystalle, welche aufer den genannten auch das Pyritoëder zeigen; Krystalle, welche zuletzt aus der Lösung sich bildeten, hatten das Tetraëder vorherrschend. An den Krystallen, welche alle die genannten Flächen combinirt enthalten, ist der Umfang einer jeden einzelnen Würfelfläche gebildet von sechs Combinationenkanten, von denen je zwei dem Granatoëder, dem Tetraëder und Pyritoëder zugehören. Diese Combinationenkanten des Würfels bezüglich mit G , T , P bezeichnet, ergeben zweierlei Folgen. Die Füße des Beobachters innerhalb, den Kopf auferhalb des Krystalls gedacht, so bezeichnet die Folge GTP den Krystall als eine *rechte* Combination; GPT bezeichnet ebenso eine *linke* Combination von Pyritoëder und Tetraëder. Fig. 15 und 16 Taf. IV. stellen zwei solche verschiedene Hexaëderflächen mit ihren dreierlei Kanten vor.

Die Circularpolarisation des Lichts durch chlorsaures Natron hat mich zu der dargestellten Auffassung der hemië-

drischen tesseralen Krystallformen geführt. Ich fand, daß diejenigen Krystalle, welche die oben definirte linke Combination von Pyritoëder und Tetraëder haben, links die Polarisationsebene des Lichtes drehen, und daß diejenigen Krystalle, welche die entsprechende rechte Combination haben, rechts die Polarisationsebene drehen. Diefs beobachtete ich bei etwa 40 Exemplaren von jeder der beiden Combinationen, und ich bemerkte keine Ausnahme. Bei den Krystallen, welche jene Combinationen von Flächen nicht zeigen, konnte ich natürlich nicht die Drehung der Polarisations-Ebene vorausbestimmen; auffallend war es mir aber, daß alle Krystalle, welche ich zuerst erhielt und welche nur Würfelflächen zeigten, links drehten; und daß die meisten mit Tetraëder und Granatoëder versehenen Krystalle rechts drehten. Zusammengewachsene Krystalle sind bald von gleichem, bald von entgegengesetztem Drehungsvermögen.

Bei einer großen Anzahl von Krystallen habe ich die angeführte Wirkung gemessen. Ich wendete hierzu bald rechts drehende, bald links drehende Exemplare an; die natürlichen Oberflächen waren bisweilen mit kleinen Krystallen besetzt und mußten deshalb abgeschliffen und polirt werden; auch habe ich in mehreren Richtungen gegen die Krystallflächen künstliche Oberflächen angeschliffen und auf diese Weise Platten mit parallelen Flächen gebildet und deren Dicken geändert. Auch wird die Länge des vom Lichte im Krystalle durchlaufenen Weges durch Neigen der Platte geändert. Die Dicken der angewendeten Krystalle habe ich durch das Sphärometer bestimmt; mittelst des Polarisationsinstrumentes habe ich den Winkel gemessen, um welchen der Zerleger gedreht werden mußte, damit das ursprünglich dunkle und durch den eingeschobenen Krystall erhellte und gefärbte Gesichtsfeld die *teinte passage* annahm. Wie vorausszusehen war, fand ich, daß linke und rechte Krystalle gleich stark drehen für gleiche Dicken; daß ferner die Drehung der Dicke der angewendeten Schicht oder vielmehr der Länge des Lichtweges im

Krystalle proportional ist, und daß nach allen Richtungen in den Krystallen die Drehung gleich ist, wenn die Wege des Lichtes in den Krystallen gleich lang sind. Hierbei muß ich aber bemerken, daß ich bei einigen Krystallen eine merkliche geringere Drehung gefunden habe, als bei der Mehrzahl der anderen. Die zu verschiedenen Zeiten und aus verschiedenen Lösungen gebildeten Krystalle habe ich leider nicht sortirt gehalten, daher konnte ich bis jetzt nicht entscheiden, von welchen Verhältnissen die Verschiedenheit des Drehungsvermögens abhängen dürfte.

Die meisten der von mir gemessenen Krystalle zeigten eine Drehung der Polarisationssebene von $8\frac{1}{2}$ Grad für jede pariser Linie Dicke, oder etwa von $3\frac{3}{4}$ Grad für ein Millimeter Dicke der Krystallschicht, nämlich für dasjenige gelbe Licht, welches die Complementarfarbe der *teinte passage* ist. Einige andere Krystalle drehten nur um 7 Grad in dem bezeichneten Falle; da die untersuchten Krystalle eine Wegeslänge von 1 bis 7 Linien dem Lichte darboten, so war der Unterschied der beiden beobachteten Drehungsgrößen zu groß, als daß derselbe von einer Ungenauigkeit der Beobachtung oder des Polarisationsinstrumentes herühren konnte; letzteres gewährte vielmehr eine solche Genauigkeit, daß wiederholte Beobachtungen nur um $\frac{1}{4}$ Grad abwichen. Bei gleichen Dicken ist hiernach die Drehung durch chloresaures Natron $6\frac{6}{11}$ mal kleiner als die durch Quarz, da dieser bei 1 Millimeter Dicke die Polarisationssebene des Gelb 24 Grad dreht; dagegen ist die Drehung durch unser Salz etwa $10\frac{1}{2}$ mal so groß als durch Terpenthinöl, und etwa 5 mal so groß als durch concentrirten Syrup.

Um das Drehungsvermögen des chloresauren Natrons in Betreff der verschiedenen Farben zu prüfen, construirte ich eine Zuckerlösung der Art, daß die *teinte passage* bei einer rechten Drehung des Zerlegers erreicht wurde, die so groß war, als die linke Drehung eines Krystalls. Wurde das polarisirte Licht durch beide Medien nach einander geleitet, so war das Gesichtsfeld merklich ungefärbt, und blieb

farblos während der Drehung des Zerlegers. Es würde hieraus folgen, daß für die verschiedenen Farben das Drehungsvermögen des chlórsauren Natrons nahe dieselben Verhältnisse darbietet, als Zuckerlösung; indess will ich diesen Punkt noch sorgfältiger untersuchen, als mir bisher möglich war.

Eine Auflösung von chlórsaurem Natron brachte keine Drehung der Polarisationssebene hervor; auch wenn nur solche Krystalle, welche nach derselben Richtung drehen, aufgelöst wurden, erfolgte keine Wirkung. Die aus einer solchen Lösung gebildeten Krystalle stimmten nicht alle mit den aufgelösten Krystallen überein, sondern waren gemischt aus beiden Arten.

Das Verhalten des bromsauren Natrons und bromsauren Kalis, welche als isomorph mit chlórsaurem Natron bezeichnet werden, habe ich mit dem Polarisationsmikroskop geprüft, und ich werde mir erlauben, darüber, sowie in Betreff einiger noch nicht erledigten Fragen bei dem chlórsauren Natron eine Mittheilung zu machen, wenn diese Arbeit mehr vollendet seyn wird ¹⁾.

- 1) Schon vor mehren Jahren beobachtete Prof. Mitscherlich eine Wirkung des chlórsauren Natron auf das polarisirte Licht, welche von Hrn. Biot, dem er sie zeigte, den Erscheinungen der sogenannten »*Polarisation lamellaire*« beigezählt wurde (*Compt. rend.* 1846, T. XXIII, p. 909) d. h. denjenigen Erscheinungen, welche nach seinen und nach den viel älteren Beobachtungen Brewster's (Siehe *Transact. of the Roy. Soc. of Edinb.* 1816) beim Alaun auftreten, und wie später der letztere Physiker gefunden (Ebendasselbst, Jahrg. 1824) am ausgezeichnetsten beim Analeim vorkommen. Diese beiden Körper krystallisiren in Formen des regulären Systems und dennoch verhält sich jede der acht Pyramiden, in welche man sich das Octaëder von seinen Flächen aus nach dem Mittelpunkt hin zerlegt denken kann, als ein besonderer mit Doppelbrechung begabter Krystall. Hr. Biot sieht diese Erscheinungen (die nach ihm beim Alaun nur auftreten, wenn derselbe ammoniakhaltig ist) als Folge einer secundären Wirkung an, als Folge des blättrigen Gefüges, und daher belegt er sie mit dem sonst eben nicht zweckmäßsig gewählten Namen »*Polarisation lamellaire*« (*Compt. rend.* 1841 T. XII. p. 741, 803, 871, 967). P.

XI. Ueber den krystallisirten Skorodit von einern neuen Fundorte; von N. v. Kokscharow.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Verhandl. der Russ. K. Mineralog. Gesells., Jahrg. 1852 — 1853.)

Der Skorodit war bisher in Rußland nur im amorphen Zustande im Nertschinskischen bekannt, wo derselbe erdige Massen bildet, und als Zersetzungsproduct des Arsenikkieses angesehen wird. Dieses Mineral findet sich aber bei uns, und namentlich bei der Beresowsker Hütte, 15 Werst von Katharinenburg im Ural, auch in schönen zu Drusen vereinigten Krystallen, welche die Wände der Höhlungen des Fahlerzes auskleiden, das mit Bleiglanz, Kupferkies, Schwefelkies, Rothbleierz, Bleivitriol und anderen Mineralien, in Gängen von goldhaltigem Quarze zusammen vorkommt ¹⁾. Die Krystalle haben gewöhnlich bis 6 Millimeter in ihrem größten Durchmesser; sie sind durchscheinend, lauchgrün und bieten ganz dieselben Krystallformen und Combinationen dar, wie die Krystalle des Skorodits aus Sachsen. — Eine dieser Combinationen ist in Fig. 18 Taf. IV dargestellt und bietet folgende Formen dar:

$$P = P, s = 2\bar{P}2, d = \infty \bar{P}2, m = 2\bar{P}\infty, r = \infty \bar{P}\infty.$$

Die Flächen P sind meistentheils drusig, r sind vertical gestreift, s etwas gebogen, aber d und m sind ziemlich glatt und glänzend.

Vor dem Löthrohre zeigt der Skorodit von Beresowsk, dieselben Eigenschaften und verhält sich auf dieselbe Weise zu den Flüssigkeiten, wie der Skorodit anderer Localitäten.

1) Ich habe dieses Mineral nach einem Exemplar bestimmt, das für das Museum des Berg-Instituts unter dem Namen: »Kupferhaltiges Weisbleierz« kürzlich vom Ural geschickt wurde.

XII. Oberflächenänderung der Guttapercha.

Wer längere Zeit die Guttapercha angewendet hat, wird bemerkt haben, daß die Oberfläche einer sorgfältig gesäuberten Platte nach einigen Monaten stellenweise von einem bläulichen Hauche gefärbt ist, der sich, wenn er durch Abreiben entfernt wird, zu wiederholten Malen erneut, so lange die Platte noch biegsam ist. Bleibt die Platte Jahrelang unberührt, so erscheint ihre ganze Oberfläche matt graublau, und unter dem Mikroskope erkennt man, daß die Färbung von einer außerordentlich dünnen Schicht herrührt, die bei 105facher Vergrößerung aus sehr feinen weißen Pünktchen zusammengesetzt erscheint. Diese Aenderung der Gutta habe ich bei allen Fabrikaten derselben gefunden, die nicht mit Firnis überzogen sind: bei Röhren, Schnüren, dicken Platten von heller und dunkler Farbe, wie bei den, dem Wachstafel ähnlichen, dünnen Blättern; doch tritt sie bei der dunkelbraunen Gutta früher auf, als bei der hellbraunen, womit die folgende Erfahrung zu vereinigen ist. An einem Kasten, den ich vor 2 Jahren aus Platten einer hellbraunen Gutta zusammengelöthet hatte, sind jetzt die Wände nur stellenweise blau, hingegen die Löthfugen und alle Stellen, die der heiße Bolzen berührt hatte, mit einer dichten blauen Decke überzogen. Es folgt hieraus, daß eine höhere Temperatur, welcher die Gutta Einmal ausgesetzt war, die Aenderung ihrer Oberfläche begünstigt, und daß die dunkle Sorte der Guttapercha bei ihrer Bereitung einer größeren Hitze ausgesetzt war, als die helle. Der blaue Ueberzug läßt sich mechanisch durch starkes Reiben der Platte mit einem Tuche größtentheils entfernen, chemisch und vollständig durch momentanes Eintauchen der Platte in Schwefeläther oder Terpenthinöl; Alkohol von 0,80 spec. Gew. verändert ihn nicht.

Die in der beschriebenen Weise an der Oberfläche

veränderte Guttapercha hat eine merkwürdige physikalische Eigenschaft. Die reine Gutta ist bekanntlich ein guter Isolator der Elektrizität und steht so tief in der elektrischen Erregungsreihe durch Reibung, daß sie mit fast allen Körpern gerieben stark *negativ* elektrisch wird. Ich kenne nur Schiefsbaumwolle, Collodium und elektrisches Papier, welche die Gutta positiv elektrisiren. Durch die Oberflächenänderung erfährt die Gutta keine Aenderung ihres Isolationsvermögens, aber sie ist dadurch hoch in der Erregungsreihe hinaufgerückt, und wird, mit fast allen Körpern gerieben, stark *positiv* elektrisch. Nur mit Glimmer, Diamant und Pelzwerk gerieben, habe ich sie negativ erhalten. Reinigt man die eine Fläche einer alten Guttaperchaplatte mittels Schwefeläther, so besitzt man eine Platte, deren blaue Fläche mit der Hand, Leinwand, Glas, Bergkrystall, der Fahne einer Feder, Flanell leicht gerieben, stark positiv, und deren braune Fläche mit denselben Reibern stark negativ wird.

Die Veränderung der Gutta hat ohne Zweifel in der, durch Einfluß der Luft und Wärme bewirkten, Ausscheidung eines Bestandtheiles der Masse ihren Grund. Ich verdanke Hrn. Heinrich Rose zwei Präparate, die aus absolutem Alkohol gewonnen wurden, der in Berührung mit Guttapercha lange Zeit im Kochen erhalten worden war. Das eine Präparat, ein grauweißes leichtes Pulver, das aus dem heißen Alkohol bei längerem Erkalten sich von selbst abgeschieden hatte, erschien bei 300facher Vergrößerung aus kugligen Körpern mit rauher Oberfläche zusammengesetzt. Bis 100° C. erhitzt, blieb das Pulver unverändert, bei höherer Temperatur schmolz es zu einer dunklen öligen Flüssigkeit, die zu einer schwärzlichen vielfach zerklüfteten Masse erstarrte. Diese Masse, nach der vollständigen Erkaltung mit Flanell gerieben, wurde entschieden *positiv* elektrisch, und erhielt diese Eigenschaft, wenn sie dieselbe verloren hatte, durch Unschmelzen wieder. Die geringe Menge des Pulvers hinderte, daraus das weiße krystallisirbare Harz darzustellen, das Payen aus einem sol-

chen Pulver ausgeschieden hat (*Compt. rend.* t. 35, p. 114) Das zweite Präparat, ein gelbes amorphes Harz, das durch Abdestilliren des Alkohols erhalten worden war, enthielt Alkohol und konnte, da es deshalb noch bei -1° C. weich und klebend blieb, nicht untersucht werden. Die Untersuchung der von Payen aus der Guttapercha dargestellten Harze in Bezug auf ihre elektrische Erregbarkeit dürfte in zwiefacher Hinsicht interessant seyn, da wir bisher keinen vegetabilischen Stoff von so eminent positiver Erregbarkeit kennen, wie sie die veränderte Oberfläche der Gutta zeigt, und ferner die Bildung der blauen Schicht mit der unglücklichen Aenderung der Guttapercha in eine spröde zerbrechliche Masse zusammenzuhängen scheint.

P. Rieffs.

XIII. *Versuche über die künstliche Erzeugung von Polychroismus in krystallisirten Substanzen; von H. de Sénarmont.*

(Auszug aus dem *Compt. rend.* T. XXXVIII. p. 101.)

Der bei vielen Mineralien und Kunstproducten vorkommende Polychroismus besteht wie bekannt darin, daß die farbigen Elemente der beiden Lichtstrahlen, welche aus der Doppelbrechung entspringen, im Innern des Krystalls eine ungleiche Auslöschung erfahren, so daß ein einfallender Faden von weißem und natürlichem Licht sich beim Ausreten in zwei Fäden zerfällt erweist, die nicht allein gegeneinander rechtwinklich polarisirt, sondern auch verschieden gefärbt sind. Es kann dabei die Frage aufgeworfen werden, ob diese sonderbare Eigenschaft der Substanz des Krystalls im eigentlichen Sinne angehöre, oder nur von einem in den Zwischenräumen derselben verbreiteten Farbstoff ausgehe. Diese Frage veranlafte den Verf., Versuche zur künstlichen Hervorbringung des Polychroismus anzustellen,

indem er farblose Krystalle einen zarten Farbstoff aufnehmen liefs. Die Versuche hatten einen glücklichen Erfolg. Eine Auflösung von salpetersaurem Strontian in einem Aufgufs von Campecheholz, der durch einige Tropfen Ammoniakflüssigkeit purpurroth gefärbt worden, gab große Krystalle, welche einigermaßen die Farbe des Chromalauns besaßen und einen deutlichen Polychroismus zeigten¹⁾. Ihre optischen Eigenschaften nämlich waren folgende:

1. Bei Hindurchleitung von weißem natürlichem Licht zeigen sie unter gewissen Incidenzen eine rothe, unter anderen eine blaue oder violette Farbe.

2. Mit einem doppelbrechenden Prisma betrachtet, liefern die Krystalle zwei Bilder, ein rothes, und ein dunkel violettes, je nach der Dicke. Beim Drehen der Krystallplatte in ihrer Ebene wechseln diese Bilder ihre Farbe.

3. Zwei solche vollkommen durchsichtige Krystallplatten in paralleler Lage aufeinander gelegt, lassen einen Theil des einfallenden weißen Lichts purpurfarben hindurch; in gekreuzter Lage aber fangen sie dasselbe nach Art der Turmaline auf, oder reduciren es wenigstens auf ein dermaßen dunkles Violett, daß man es als ausgelöscht betrachten kann.

4. Zeigen sie eine Erscheinung, die einen augenfälligen Beweis von dem Zusammenhang liefert, der in diesem gemischten Medium zwischen der künstlich hervorgerufenen Absorption und der ursprünglichen Doppelbrechung vorhanden ist.

Man kann nämlich von diesen Krystallen vollkommen homogene und reine Lamellen abspalten, die gegen die optischen Axen schwach geneigt sind. Bringt man nun eine solche Platte, beleuchtet von weißem und natürlichem Lichte, dicht vor das Auge, so sieht man abwechselnd in Richtung

1) Der Güte des Hrn. Dr. Beer in Bonn verdanke ich ein auf diese Weise von ihm gefärbtes Plättchen von salpetersaurem Strontian, an welchem sich die beiden erst genannten Eigenschaften sehr schön beobachten lassen.

jeder dieser Axen einen hellen orangefarbenen Fleck, durchschnitten von einem Hyperbelzweig. Diese entfalten sich rechts und links vom Hauptschnitt zu halb violetten, halb dunkelblauen gekrümmten Pinseln (*pinceaux*), die das Feld der Lamelle in zwei Regionen theilen, in welchen, dieß- und jenseits ihrer gemeinschaftlichen Gränze, die purpurfarbenen Nuancen sich regelmäfsig verlaufen.

Dunkle Büschel (*houppes*), unterbrochen von dem hellen Fleck, sind überdieß gegen die Spitze hin gefranset mit etwas Gelb und Blau, einer ganz lokalen Färbung, welche offenbar von der Dispersion der den verschiedenen Farben entsprechenden optischen Axen herrührt. Diese Dispersion ist nämlich bei dem salpetersauren Strontian ziemlich stark.

Diese für den Polychroismus optisch zweiaxiger Krystalle ganz charakteristischen Erscheinungen, welche den von Dr. Brewster zuerst beim Cordierit gefundenen, später von Hrn. Haidinger beim Andalusit beobachteten und auch an gewissen Epidoten erkennbaren durchaus ähnlich sind, zeigen sich in den großen Lamellen, die man so leicht vom salpetersauren Strontian erhält, in viel größerer Pracht. Es ist überflüssig zu sagen, daß die farblosen Krystalle nichts dem Aehnliches zeigen und daß deren optische Axen nur im polarisirten Lichte mittelst der gewöhnlichen Apparate sichtbar werden.

Andere Farbstoffe mit anderen Salzen vereint, bringen analoge Wirkungen hervor, worüber der Verf. künftig Näheres mittheilen wird.

Zum Schluß erwähnt derselbe noch einer Thatsache, welche zeigt, welchen Einfluß eine unlösliche krystallisirte Substanz, die sich in einer Salzlösung befindet, auf die Ablagerung des krystallisirenden Salzes haben kann.

Die Rhomboëder des salpetersauren Natrons von $106^{\circ} 33'$ lagern sich nämlich auf Kalkspathkrystalle solchergestalt ab, daß die Axen der Figur und die Hauptschnitte der Individuen parallel sind, und dieß nicht bloß auf die Flächen des Rhomboëders von $105^{\circ} 5'$ sondern auch auf die des

schärferen und stumpferen Rhomboëders, der sechsseitigen Prismen und der Scalenoëder, obwohl diese letzteren Formen des Kalkspaths bisher beim salpetersauren Natron nicht beobachtet worden sind.

XIV. *Vom Aluminium und dessen chemischen Verbindungen; von H. Sainte-Claire Deville.*

(*Compt. rend. T. XXXVIII. p. 279.*)

Bekanntlich hat Hr. Woehler das Aluminium pulverförmig erhalten, indem er das Chlorid desselben mit Kalium behandelte ¹⁾). Durch gehörige Abänderung dieses Prozesses kann man die Zerlegung des Chloraluminiums so reguliren, daß ein Glühen entsteht, welches hinreicht, die Metalltheilchen zu Kügelchen zu vereinen. Wenn man das Gemenge von Aluminium und Chlornatrium (es ist besser Natrium anzuwenden) in einem Porzellantiegel bis zur lebhaften Rothgluth erhitzt, so verfliegt das überschüssige Chloraluminium, und es bleibt eine sauer reagirende Salzmasse, inmitten welcher sich mehr oder weniger große Kügelchen von vollkommen reinem Aluminium befinden.

Dieses Metall ist so weiß wie Silber, schmied- und dehnbar im höchsten Grad. Bei der Bearbeitung fühlt man indeß, daß es mehr Widerstand leistet, und daß seine Zähigkeit muthmaßlich der des Eisens nahe kommt. Man kann es härten und wieder anlassen. Sein Schmelzpunkt ist wenig verschieden von dem des Silbers. Seine Dichte ist 2,56. Man kann es an der Luft schmelzen und ausgießen, ohne daß es sich merklich oxydirt. Es leitet Wärme sehr gut.

1) Dies ist nicht richtig; Prof. Wöhler hat das Aluminium allerdings in compacten und geschmeidigen Blättchen dargestellt, wie aus seinen Untersuchungen (*Ann. Bd. 64, S. 447*), so wie aus denen von Riess und von mir (*Ibid. Bd. 73, S. 618*) zur Genüge hervorgeht. P.

An trockner oder feuchter Luft ist das Aluminium vollkommen unveränderlich; es läuft nicht an, und bleibt neben frisch abgeschabten Zink oder Zinn glänzend. Gegen die Wirkung des Schwefelwasserstoffs ist es unempfindlich. Kaltes Wasser wirkt nicht auf dasselbe; siedendes ebenfalls nicht. Auch verdünnte oder concentrirte Salpetersäure, so wie verdünnte Schwefelsäure, kalt angewandt, hat keine Wirkung auf dasselbe. Das wahre Lösemittel desselben ist Chlorwasserstoffsäure. In Chlorwasserstoffgas bis zum Rothglühen erhitzt, bildet sich trocknes und flüchtiges Aluminium-Sesquichlorid.

Ein wie Silber weißes und unveränderliches Metall, welches an der Luft nicht anläuft, welches schmelzbar, schmiedbar, geschmeidig und zähe ist, dabei die sonderbare Eigenschaft einer größeren Leichtigkeit als Glas besitzt, würde begreiflich von vielem Nutzen seyn können, wenn man es leichter darzustellen vermöchte. Erwägt man überdies, daß dies Metall in bedeutender Menge in der Natur vorkommt, in dem sein Mineral der Thon ist, so muß man wünschen, daß es nützlich werde. Ich habe allen Grund dieses zu glauben, denn das Chloraluminium wird in hoher Temperatur von den gewöhnlichen Metallen mit merkwürdiger Leichtigkeit zersetzt und eine Reaction dieser Art, die ich in diesem Augenblick in größerem Maassstabe bewerkstellige, wird die Aufgabe unter practischem Gesichtspunkt lösen.

XV. *Aus einem Schreiben des Professors Langberg in Christiania.*

— Aus No. 10 Ihrer Annalen von 1853 ersehe ich, daß ein vor langer Zeit von mir beobachtetes optisches Phänomen durch Ohm wieder zu Ehren gekommen ist, und Sie dabei auch meiner Ansprüche gedenken. Sie fügen indess hinzu: »Wie es scheint, hat L. die Erscheinung

nur vom theoretischen Standpunkt aus betrachtet, und nicht experimentell zu verwirklichen gesucht.“ — Erlauben Sie mir darauf zu erwidern, daß dies nicht der Fall ist, obschon Sie aus dem Auszug, welchen ich Ihnen von meiner Abhandlung für die Annalen übersandte, nicht füglich anders schliessen konnten. Aus der Originalabhandlung (*Nyt Magazin for Naturvidenskaberne*, Bd. II, p. 83) werden Sie ersehen, daß ich die Erscheinung der Ellipsen vollständig beschrieben habe, wie ich sie beobachtet, nicht allein, wenn die Krystallplatten gleich dick sind und das Centrum der Ellipsen in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt, sondern auch bei ungleich dicken Platten, wo das nicht der Fall ist. Selbst die von Ohm angeführten Abweichungen, wenn man Platten von Bergkrystall anwendet, wo neben den Ellipsen sich, winkelrecht gegen den Hauptschnitt, noch andere Curven zeigen, habe ich beobachtet und beschrieben (a. a. O. p. 84), habe aber dafür eine andere Erklärung als Ohm gegeben. Ich glaube nicht, daß, bei so großen Winkeln gegen die optische Axe, das Drehungsvermögen des Minerals von Einfluß seyn könne, denn die secundären Curven zeigen sich (und bisweilen am deutlichsten) sogar in der auf dem Hauptschnitt winkelrechten Ebene. Ueberhaupt habe ich alle die von mir theoretisch entwickelten Erscheinungen wirklich durch Beobachtungen verificirt (soweit es ohne Messungen geschehen konnte), außer den im Ergänzbd. I. d. Ann. S. 538 u. 544 besprochenen Curvenänderungen, was ich auch selbst im Originale p. 93 bemerkt habe.

Selbst der Auszug aus meiner Abhandlung scheint wenig gelesen zu seyn, denn anders weiß ich es nicht zu erklären, wie Wilde in seiner sonst so verdienstvollen Abhandlung über die epoptischen Farben (Ann. Bd. 89, S. 234 u. 402) für elliptische und circulare Polarisation und lineare Zerlegung (oder umgekehrt) identisch dieselben Formeln, welche ich schon vor 14 Jahren entwickelt habe, reproducirt, ohne meiner Priorität mit einem Worte zu erwähnen. Man vergleiche die Formeln (8), (9), (10), (17) und (18) bei ihm, mit (53), (54), (55) und (56) bei mir im Ergänzbd. I. (1842) S. 561.

I. *Ueber die Dispersion der Elasticitätsaxen in
zwei- und ein-gliedrigen Krystallen;
von J. Ch. Heusser.*

Die Entdeckung Noerremberg's, dafs in 2- und 1gliedrigen Krystallen die Farben der Ringe um die beiden optischen Axen unsymmetrisch vertheilt sind, wurde von Hrn. Prof. Neumann dadurch erklärt, dafs die Elasticitätsaxen bei diesen Krystallen für die verschiedenen Farben nicht mehr blofs der Gröfse nach verschieden seyen, sondern auch der Lage nach (s. diese Annal. Bd. XXXV, S. 84). In der eben citirten Arbeit ist schon von den zwei wesentlich verschiedenen Fällen des optischen Verhaltens in 2- und 1gliedrigen Krystallen die Rede. In einem Falle nämlich (z. B. beim Gyps) fällt die Ebene der optischen Axen für alle Farben zusammen mit der den Krystall symmetrisch theilenden Ebene; die mittlere Elasticitätsaxe hat eine allen Farben gemeinsame Lage (senkrecht zur symmetrisch theilenden Ebene), die grösste und kleinste dagegen liegen für die verschiedenen Farben verschieden. Im zweiten Fall gehen die Ebenen der optischen Axen für die verschiedenen Farben selbst auseinander, sie stehen sämmtlich auf der symmetrisch theilenden Ebene senkrecht; gemeinschaftlich für alle Farben ist diejenige Elasticitätsaxe, die senkrecht auf der symmetrisch theilenden Ebene steht (in diesem Fall aber nie die mittlere, sondern die grösste oder kleinste), verschieden gelegen dagegen die mittlere und die grösste oder kleinste. Als Beispiel dieses Falles ist in der erwähnten Abhandlung der Borax, und in einer zweiten in demselben Band S. 204 der Adular angeführt.

Messende Bestimmungen sind seither über die Dispersion der Elasticitätsaxen nicht gemacht worden; ich hatte mir daher vorgenommen, solche auszuführen, und war damit im Winter 18 $\frac{5}{3}$ bei einem Aufenthalt in Königsberg beschäftigt. Das dazu nothwendige Instrument, ein Gonio- meter mit Fernrohr und Polarisationsvorrichtung hatte mir Hr. Prof. Neumann sehr bereitwillig zur Verfügung gestellt; leider hatte ich aber damals so unvollkommene Kry- stalle, dafs ich zu keinem sicheren Resultat kam. In Berlin aber, wo ich mir sehr schöne Krystalle verschaffen konnte, setzte ich diese Arbeit mit dem bereits in diesen Annalen Bd. LXXXIX, S. 532 beschriebenen Instrument bei Hrn. Prof. Magnus fort, und theile die Resultate dieser Mes- sungen hier mit.

Als Beispiele für den Fall, wo die Ebenen der optischen Axen mit der symmetrisch theilenden Ebene zusammen- fallen, wurden gewählt: Diopsid und ein künstliches Salz, schwefelsaure Ammoniak-Magnesia, (den Diopsid hatte ich Hrn. Dr. Ewald, das Salz Hrn. Prof. Rammelsberg zu verdanken); für den Fall, wo die Ebenen der optischen Axen selbst für die verschiedenen Farben auseinandergehen: Feldspath; den ich in so vollständig klaren und homogenen Stücken, wie er selten zu finden ist, theils von Hrn. Geh. Rath Mitscherlich, theils, durch Vermittelung des Hrn. Escher von der Linth, von Hrn. Dr. Lusser in Altdorf erhalten hatte. Sämmtliche Platten und Prismen aus diesen Krystallen, mit Ausnahme des künstlichen Salzes, wurden von Hrn. Pistor in Berlin geschliffen, der in der Kunst plane und plan-parallele Flächen zu schleifen, einen sehr hohen Grad der Vollkommenheit erreicht hat.

1. Diopsid.

Ich setze als bekannt voraus, dafs die meisten Diopside Zwillinge sind, und dafs die beiden Ringsysteme mit sym- metrischer Farbenvertheilung, die in einer senkrecht zu den Säulenflächen geschliffenen Platte zum Vorschein kommen,

zwei verschiedenen Individuen angehören. Die Axen ein und desselben Individuums sind die eine etwa 10° zur verticalen, die andere etwa 21° zur horizontalen Krystallaxe, die Mittellinie also um etwa $39\frac{1}{2}^\circ$ zur verticalen geneigt; und zwar treten die Axen auf derjenigen Seite aus, die gewöhnlich als die vordere betrachtet wird, auf welcher der Schiefendfläche ein blättriger Bruch entspricht. Diefes wußte ich von vorn herein, und liefs daher eine Platte ungefähr senkrecht zur Mittellinie schleifen, d. h. mit etwa $50\frac{1}{2}^\circ$ Neigung zur verticalen Krystallaxe; diese Platte zeigte nun beide Ringsysteme sehr schön, so dafs sich leicht die Winkel der scheinbaren optischen Axen für die verschiedenen Farben, so wie die Neigung der beiden einzelnen Axen zur Platte messen liefsen. Die verschiedenen homogenen Farbenquellen waren dieselben, die ich in diesen Annalen Bd. LXXXIX angegeben, und die Art der Messung des Winkels der scheinbaren optischen Axen ganz dieselbe, wie ich sie dort beschrieben; die Art der Messung der Neigung einer scheinbaren optischen Axe zur angeschliffenen, oder zu einer Krystall-Fläche die von Hrn. Neumann in der bereits erwähnten Abhandlung (diese Ann. Bd. XXXV, S. 87) beschriebene.

Es möge nun in Fig. V, Taf. I. N den Punkt bezeichnen, wo die Normale zur angeschliffenen Fläche, s und s' die beiden Punkte, wo die scheinbaren optischen Axen, und a, b, c die Punkte, wo die drei Krystallaxen eine um den Mittelpunkt des Krystallsystems gezogene Kugel treffen, so ergab die Messung für den Winkel ss' d. h. für den Winkel der scheinbaren optischen Axen folgende Werthe¹⁾:

- 1) Alle Zahlenwerthe, die ich im Laufe dieser Arbeit anführe, sind die Mittel von drei bis fünf an verschiedenen Tagen angestellten Messungen, die beim Diopsid am wenigsten, im Maximum zwei bis drei Minuten, beim Feldspath aber mehr variirten, worauf ich noch zurückkommen werde. — Natürlich war die Temperatur an den verschiedenen Tagen bei derselben Messung verschieden; im Ganzen variirte sie zwischen 18° und 23° Cels.

im rothen Licht:	112° 27'
» gelben »	112 22
» grünen »	112 10
» blauen »	111 41.

Ferner für die Neigung der beiden scheinbaren Axen zur Normale sN und $s'N$ als Complement der unmittelbar gemessenen Neigung derselben zur Platte:

	sN	$s'N$
im rothen Licht	61° 47' 30"	50° 42'
» gelben »	61 50	50 35
» grünen »	61 58	50 14
» blauen »	62 4	49 40.

Um die Neigung der wahren optischen Axen zu berechnen, ist noch die Kenntniß der mittleren Geschwindigkeit des Lichts im Diopsid nothwendig. Zu dem Ende liefs ich ein Prisma schleifen, dessen brechende Kante möglichst nahe parallel war der mittleren Elasticitätsaxe, oder der Krystallaxe b ; dieser Parallelismus liefs sich nahe erreichen, da an dem Krystall die Abstumpfung beider Seitenkanten der Säule ausgebildet war. Der brechende Winkel des Prismas p fand sich:

$$p = 57^\circ 11'$$

die Ablenkung D für die Farben des Spectrums mit constanter Geschwindigkeit:

	$D.$
im rothen Licht:	49° 40'
» gelben »	49 58
» grünen »	50 22
» blauen »	51 7

Daraus folgen die Brechungsexponenten n , für:

	$n.$
roth:	1,67810
gelb:	1,68135
grün:	1,68567
blau:	1,69372

Bezeichnen nun o und o' die Durchschnitte der in der symmetrisch theilenden Ebene liegenden wahren optischen

Axen mit unserer Kugel, so haben wir für jede einzelne Farbe:

$$oN : sN = \frac{1}{n} : 1$$

$$o'N : s'N = \frac{1}{n} : 1$$

somit sind oN und $o'N$ bekannt; ferner kann aus dem Dreieck sNs' der Winkel sNs' berechnet werden, und dann aus den drei bekannten Elementen oN , $o'N$, und Winkel oNo' die dritte Seite oo' , oder der Winkel der wahren Axen. Durch diese Rechnung ergeben sich als Winkel der wahren Axen zur Normalen folgende Werthe:

	oN	$o'N$
im rothen Licht:	31° 40' 39"	27° 27' 39"
» gelben »	31 37 23	27 21 13
» grünen »	31 34 35	27 7 44
» blauen »	31 26 30	26 44 53

und als Winkel der wahren Axen gegen einander:

	$o'o$
im rothen Licht:	59° 7' 51"
» gelben »	58 57 9
» grünen »	58 41 32
» blauen »	58 9 56

Um nun genau die Lage der optischen Axen in Beziehung auf die krystallinische Structur festzustellen, wurden noch die Winkel gemessen, welche die angeschliffene Fläche mit den beiden Säulenflächen bildete; es waren dieselben zwar nicht als wirkliche Krystallflächen ausgebildet, dagegen wurde der denselben entsprechende blättrige Bruch entblöst, und konnte zu einer genauen Messung benutzt werden; und zwar fand sich die Neigung der angeschliffenen Fläche

zur linken Säulenfläche = 116° 48' 30"

» rechten » = 117 21

Angenommen nun die Normalen der beiden Säulenflächen schneiden unsere Kugel in M und M' , so folgt, da NM und NM' gleich sind dem Complement der angeführten Messung:

$$NM = 63^{\circ} 11' 30''$$

$$NM' = 62' 39''$$

Was den Säulenwinkel selbst betrifft, so konnte ich denselben an meiner Platte nicht leicht messen, da die natürlichen Bruchflächen nicht unmittelbar an einander gränzten, sondern noch durch die Abstumpfung der scharfen Seitenkante, welche Abstumpfung aber selbst nicht spiegelte, von einander getrennt waren. Dagegen maß ich diesen Winkel an einem anderen Krystall aus der K. Sammlung, den ich von Hrn. Geh. Rath Weifs erhalten hatte: nach dieser Messung, auf die ich unten noch einmal speciell zurückkommen werde, beträgt der stumpfe Säulenwinkel (an der Axe *b*) $92^{\circ} 54\frac{1}{2}'$, es ist dieser aber genau gleich dem Winkel unserer beiden Normalen:

$$MM' = 92^{\circ} 54' 30''.$$

Aus den bis jetzt bekannten Elementen kann nun der gesuchte Winkel $o'a$ gefunden werden: aus dem Dreieck NMM' dessen drei Seiten durch die Messung gegeben sind, kann nämlich zunächst Winkel NMM' gefunden werden; dann sind im Dreieck NMa zwei Seiten NM und $Ma = \frac{1}{2}MM'$, und der Winkel NMa bekannt, somit kann die dritte Seite Na und der Winkel MaN berechnet werden.

Es ist aber Winkel $o'aN = MaN - 90^{\circ}$; somit sind im Dreieck $o'aN$ zwei Seiten $o'N$ und aN und der Gegenwinkel $o'aN$ bekannt, und daraus kann die dritte Seite $o'a$ berechnet werden. Die Ausführung dieser Rechnungen ergibt folgende Werthe:

$$\text{Seite } Na = 48^{\circ} 38' 33,4''$$

$$\text{Winkel } o'aN = 0^{\circ} 26' 35,6''$$

ferner

	Seite $o'a$
für rothes Licht:	$21^{\circ} 10' 58''$
„ gelbes „	$21^{\circ} 17' 24''$
„ grünes „	$21^{\circ} 30' 53''$
„ blaues „	$21^{\circ} 53' 44''$

Aus dem Winkel der wahren optischen Axen in Verbindung mit diesen Winkeln der unteren Axen zur Krystall-

axe α folgen für den Winkel der oberen optischen Axen zu dieser Krystallaxe die Werthe:

	α'
für rothes Licht:	80° 18' 49"
» gelbes »	80 14 33
» grünes »	80 12 25
» blaues »	80 3 40

und für die Neigung der Mittellinie zur Krystallaxe α folgen die Werthe:

für rothes Licht:	50° 44' 53,5"
» gelbes »	50 45 58,5
» grünes »	50 51 39
» blaues »	50 58 42

Für die extremen Farben roth und blau gehen also die Mittellinien bloß etwa um 0° 14' aus einander, und dieser Werth wird bis auf wenige Minuten jedenfalls richtig seyn. Für gelb und grün liegen nach diesen Messungen die Mittellinien viel näher beisammen als man nach dem allmählichen Uebergang der Farben erwarten sollte; vielleicht rührt bei gelb ein Fehler daher, daß der Brechungsexponent, der gewählt wurde, nicht genau derjenigen Wellenlänge entspricht, die von der mit Kochsalz getränkten Spirituslampe erzeugt wird. Es geht aus den angeführten Werthen ferner hervor, daß beim Diopsid nicht, wie es in einigen Lehrbüchern für 2- und 1gliedrige Krystalle überhaupt angegeben ist, die blauen und rothen Axen einander zugekehrt sind, wie in Fig. 2, woraus allerdings auch eine Dispersion der Elasticitätsaxen erfolgen müßte; vielmehr sind, wie bei 2- und 2gliedrigen Krystallen, die wahren optischen Axen derselben Farbe (roth) inwendig, und diejenigen derselben Farbe (blau) auswendig; dagegen sind auf der einen Seite die wahren optischen Axen für die verschiedenen Farben näher beisammen als auf der andern; auf der untern Seite nämlich gehen die Axen für die extremen Farben um 0° 43' aus einander, auf der oberen Seite aber bloß um 0° 16' (Taf. V. Fig. 3), woraus ebenfalls mit Nothwendigkeit ein

Auseinandergehen der größten und kleinsten Elasticitätsaxe folgt.

Die scheinbaren optischen Axen treten allerdings so aus der Platte heraus, daß, wie die obigen Werthe von sN und $s'N$ zeigen, auf der obern Seite roth, auf der untern blau der Normale am nächsten liegt, daher auch in den beiden Ringsystemen auf der einen Seite roth, auf der andern blau inwendig erscheint. Der Grund, warum diese Reihenfolge der Farben auf der obern Seite bei den wahren optischen Axen eine andere ist, als bei den scheinbaren, ist leicht einzusehen; er liegt in der Verschiedenheit des Brechungscoëfficienten für die verschiedenen Farben, wie eine Vergleichung der Werthe von sN mit denen von oN zeigt.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurden zwei Annahmen gemacht, über deren Berechtigung ich noch einige Worte hinzufügen muß.

Erstlich wurde angenommen, daß die Ebene der optischen Axen für alle Farben zusammenfalle mit der symmetrisch theilenden Ebene; es ist also eine symmetrisch theilende Ebene selbst wirklich beim Diopsid vorausgesetzt, während dieselbe nur in dem Falle vorhanden ist, wenn die Säule eine symmetrische, d. h. das Krystallsystem ein entschieden 2- und 1gliedriges ist. Es wurde zwar bisher der Diopsid entschieden für 2- und 1gliedrig gehalten, indess schienen einige Zwillinge, oder Vierlinge, die sich im Besitz des Hrn. Prof. Neumann befinden, auf ein mehr 1- und 1gliedriges Verhalten hinzuweisen.

Ein Durchschnitt eines gewöhnlichen Zwillings senkrecht zu den Säulenflächen sieht aus, wie Fig. 4 zeigt, wo ab und cd die Abstumpfung der scharfen, ao und db die Abstumpfung der stumpfen Säulenkanten, und ef die Zwillingsgränze darstellen. Der Längendurchschnitt eines solchen Zwillings parallel der symmetrisch theilenden Ebene ist Fig. 6 dargestellt; die obern optischen Axen treten hier aus nach ps und ps' und liegen in der Ebene des Papiers. Nun hatten aber die zwei erwähnten Stücke des Hrn. Prof.

Neumann einen Querschnitt, wie ihn Fig. 5 zeigt, so dafs wir vier Individuen und zwei Zwillingsgrenzen parallel den Abstumpfungen der stumpfen und scharfen Säulenkante haben. Der Längendurchschnitt wäre ganz wie in Fig. 6. Die optischen Axen der Individuen *a* und *c* müßten nun genau parallel austreten, und ebenso diejenigen der Individuen *b* und *d*; diefs thun sie aber nicht, sondern bilden einen Winkel mit einander; und zwar fand sich der Winkel bei zwei verschiedenen Stücken solcher Vierlinge ziemlich nahe gleich, etwa $3\frac{1}{2}^{\circ}$. Diese Uebereinstimmung machte anfangs die 1- und 1gliedrige Natur der einzelnen Individuen des Vierlings wahrscheinlich. Indefs zeigte doch die genauere Betrachtung, dafs die Gränze zwischen den Individuen *a* und *b* nicht genau parallel war der Gränze zwischen *c* und *d*; daraus folgt, dafs die scheinbare Zwillingsgrenze zwischen den Individuen *a* und *b* einerseits, und *c* und *d* andererseits nicht eine streng gesetzliche ist parallel der symmetrisch theilenden Ebene. Die 2- und 1gliedrige Natur des Diopsid wurde aber noch direct durch folgende Messung bestätigt: ich mafs in Berlin an dem oben schon erwähnten Krystall aus der K. Sammlung die Neigung beider Säulenflächen zur Abstumpfung der stumpfen Säulenkante, und fand dieselben so nahe gleich, nämlich

$$133^{\circ} 33'$$

$$\text{und } 133^{\circ} 33\frac{1}{2}'$$

dafs die Säule des Diopsid ohne Zweifel eine symmetrische ist, und jene erwähnten Stücke nicht nach einem bestimmten Gesetz gebildete Vierlinge, sondern durch unregelmäßige Fortwachsung des Zwillings *cd* an den Zwilling *ab* zu erklären sind.

Die zweite Voraussetzung, die gemacht wurde, war die: dafs die Fresnel'schen Gesetze für die Fortpflanzung des Lichts in optisch 2axigen Krystallen unverändert für homogenes Licht auch in 2- und 1gliedrigen Krystallen gelten. Es wäre aber möglich, dafs auch bei Strahlen von einerlei Undulationslänge die Symmetrie, welche in Beziehung auf die Mittellinie nach den Fresnel'schen Gesetzen in 2-

und 2gliedrigen Krystallen stattfindet, hier nicht vorhanden wäre. In diesem Fall müßten auch in homogenem Licht die Ringsysteme beider Farben eine Verschiedenheit zeigen. Hr. Prof. Neumann hat eine Reihe von Messungen der Durchmesser dieser Ringe in rothem Licht angestellt, und gefunden, daß, wenn wirklich ein Unterschied vorhanden seyn sollte, derselbe nicht den hundertsten Theil ihres Werthes übersteigt. Diese kleine Verschiedenheit kann daher wohl als Folge der nicht zu vermeidenden Fehler in den Messungen angesehen werden. Ich habe, in der Hoffnung eine größere Genauigkeit in der Messung, und dadurch eine genauere Uebereinstimmung in den Werthen jener Durchmesser zu erzielen, auch eine Reihe von Messungen angestellt; die von mir erhaltenen Werthe zeigen aber keine genauere Uebereinstimmung; und es wäre unbescheiden von mir, diese Messungen zu veröffentlichen, während die Originalarbeit von Hrn. Prof. Neumann, in der die theoretischen Formeln entwickelt sind, nach denen solche Beobachtungen überhaupt berechnet werden, nicht veröffentlicht ist.

Gerne hätte ich an den Diopsid die optische Untersuchung der demselben so nahe stehenden Hornblende angeschlossen; Hr. Geh. Rath Weiß hatte auch die Güte, mir die durchsichtigen Krystalle des Strahlsteins, die in dem K. Cabinet sich fanden, zur Verfügung zu stellen; indess war es nicht möglich, dieselben anzuschleifen; sie waren in so unfrischem Zustande, daß, wie ich mich durch eigene Versuche überzeugte, bevor eine spiegelnde Fläche angeschliffen war, der Krystall in eine erdige Masse zerfiel.

2. Schwefelsaure Ammoniak-Magnesia.

Bevor ich auf das optische Verhalten dieses Salzes eintrete, wird es passend seyn, ein kurzes Bild von der Krystallform desselben zu geben. Ich bediene mich zu dem Zweck der von Hrn. Prof. Neumann herrührenden Projection der Normalen der Krystallflächen auf die gerade Endfläche (Siche dessen Beiträge zur Krystallonomie, Berlin 1823).

Wir gehen aus von einer Säule von etwa $109^{\circ} 34'$, deren scharfe Kanten gewöhnlich abgestumpft sind; den Flächenort der Säulenflächen enthält die Linie oM (Fig. 7) in ihrer unendlichen Entfernung, den Flächenort der Abstumpfung die Linie oT ebenfalls in unendlicher Entfernung. Dazu treten zunächst eine vordere Schiefendfläche mit $103^{\circ} 55'$ Neigung zur Säulenfläche, deren Flächenort in c , und eine hintere Schiefendfläche mit $126^{\circ} 56'$ Neigung zur Säulenfläche (also eine schärfere als vorn), deren Ort in c' fallen möge; ferner ein augitartiges Paar zugleich aus den Endkantenzonen (scharfe Hälfte) beider Schiefendflächen, deren Flächenort in d fallen wird; ferner gepaarte Flächen aus der Diagonalzone der vordern Schiefendfläche mit $154^{\circ} 56'$ Neigung zur vordern Schiefendfläche; eine zweite Zone dieser Diagonalfächen war nicht sichtbar, daher ihr Flächenort nicht näher bezeichnet werden kann, als dafs er auf der durch c gelegten horizontalen Linie, welche die Diagonalzone darstellt, liegt. Endlich haben wir noch gepaarte Flächen aus der Kantenzone der vordern Schiefendfläche (stumpfe Hälfte), von denen keine zweite Zone sichtbar war; ihr Flächenort wird also irgendwo auf der Linie, welche die stumpfe Hälfte dieser Kantenzone repräsentirt, d. h. zwischen c und M gelegen seyn. Auf die angeführten Messungen kann ich kein großes Gewicht legen, weil die Flächen nicht recht klar spiegelten; indess ist die wirkliche Berechnung der krystallographischen Verhältnisse unseres Salzes zum Verständniß des optischen Verhaltens, zu dem wir nun übergehen wollen, nicht nothwendig ¹⁾.

- 1) Die angeführten Werthe geben für die hintere Schiefendfläche eine nahe $\frac{3}{2}$ fach schärfere Neigung zur verticalen Axe, als für die vordere; es ist indess leicht möglich, dafs eine genaue Messung für die hintere Schiefendfläche genau die dreifach schärfere Neigung ergeben würde. Wesentlich ist nur, dafs, wie ich überzeugt bin, die Tangenten der Neigungswinkel beider Schiefendflächen zu einander in einem einfachen rationalen Verhältnifs stehen; damit sind natürlich unmittelbar rechtwinklige Axen gegeben.

Ich will mich übrigens auf die Begründung der rechtwinkligen Axen

Die Ebene der optischen Axen fällt, wie bereits bemerkt worden, zusammen mit der symmetrisch theilenden

gegenüber den von Mohs aufgestellten schiefwinkligen hier nicht weiter einlassen. Dagegen nehme ich von einer Stelle in Hrn. Haidinger's »Handbuch der bestimmenden Mineralogie, Wien 1850, S. 184« Veranlassung, hier noch einmal auf die Streitfrage der Priorität in der Aufstellung der Krystallssysteme zurückzukommen. Hr. Haidinger stützt seine Behauptung der Priorität zu Gunsten von Mohs auf Mohs's »glänzende Widerlegung der Weissischen Ansprüche in Schweigger's Jahrbuch 1823, VII, 216«. Aus dieser Vertheidigung Mohs geht aber Nichts weiter hervor, als daß Mohs bei der Ausarbeitung seiner Ideen mit den Weissischen Arbeiten nicht bekannt gewesen sey, daß also Mohs der Vorwurf nicht treffe, er habe die Weissischen Arbeiten ausgebeutet. Mohs gesteht in dieser Arbeit selbst zu, er habe erst 1812 angefangen seine Ideen auszuarbeiten, habe im Winter 1814 das Ganze in eine systematische Ordnung gebracht, und dann über dies System Vorlesungen in Grätz gehalten; im Jahre 1816 habe er ferner sein Manuskript zu einem Lehrbuch der Mineralogie vollendet. Bis zu diesem Jahr war aber noch kein Wort von Mohs Arbeiten gedruckt.

Wie steht es nun mit den Arbeiten von Weiss? 1809 erschien dessen Dissertation »*de indagando formarum crystallinarum caractere geometrico principali*« in der schon die Grundgedanken über Axen, Krystallssysteme und Hemiëdrie deutlich ausgesprochen waren, und im Jahr 1815 erschien unter dem Titel »Uebersichtliche Darstellung der verschiedenen natürlichen Abtheilungen der Krystallisationssysteme« in den Abhandlungen der Berliner Akademie die in sich vollendete Arbeit, in der zuerst folgende sieben Krystallssysteme unterschieden sind:

- 1) das sechsgliedrige
- 2) das rhomboëdrische
- 3) das sphäroëdrische
- 4) das 4-gliedrige
- 5) das 2- und 2-gliedrige
- 6) das 2- und 1-gliedrige
- 7) das 1- und 1-gliedrige,

die gegenwärtig, wenn auch theilweise mit anderen Namen, allgemein angenommen sind; darauf, daß für die letzten beiden Systeme die meisten neueren Mineralogen mit Mohs schiefwinklige, und nicht mit Weiss rechtwinklige Axen annehmen, kommt es hier gar nicht an, sondern bloß darauf, wer diese natürlichen Abtheilungen zuerst aufgestellt.

Uebrigens hat schon die erste Arbeit von Weiss vom Jahre 1809 die verdiente Anerkennung auch im Ausland gefunden; sie wurde vollständig in das *Journal de mines* vom Jahre 1811 aufgenommen, und

Ebene, und zwar treten die optische Axen auf der vordern Seite heraus, beide ziemlich nahe gleich geneigt zur horizontalen Krystallaxe *a*. Die Flächen, die ich anschliff, waren also mehr parallel der vertikalen Säulenkante. Ich maß zunächst wieder die Neigung der scheinbaren Axen gegen einander, und die Neigungen jeder einzelnen Axe zur angeschliffenen Fläche und erhielt dafür folgende Werthe:

	f. rothes Licht.	f. gelbes Licht.
Neigung der scheinbaren Axen gegen einander	77° 26'	77° 28'
Neigung der unteren Axe zur Platte	50 20	50 27½
Neigung der oberen Axe zur Platte	52 13	52 6
	<hr/> 179° 59'	<hr/> 180° 1½'

diese Arbeit hat auch Hr. Dufrénoy in seinem »*Traité de minéralogie*, Paris 1844, p. 144« nach der Zeit ihres Erscheinens und nach ihrem Inhalt richtig gewürdigt. Dieß Urtheil des Hrn. Dufrénoy veranlaßte Hrn. Haidinger den Streit über die Priorität zwischen Weifs und Mohs wieder aufzunehmen, und ich muß aus der angeführten Stelle des Hrn. Haidinger noch einige VVorte, die charakteristisch sind, hier wörtlich anführen; diese lauten: »Schon bevor Mohs seine Charakteristik und seinen Grundriß der Mineralogie öffentlich bekannt gemacht hatte, hatte VVeifs einige allgemeine Resultate ähnlicher Art erhalten, aber sie nur in einzelnen Abhandlungen niedergelegt; daher denn erst die Bekanntwerdung von Mohs Arbeit auch denen von VVeifs allgemeine Anerkennung und Geltung verschaffte.«

Wie reimt sich dieß mit der Thatsache, daß die ersten Arbeiten von VVeifs schon im Jahre 1811 in einem französischen Journale erschienen sind, während Mohs selbst zugiebt (s. Schweigg. Jahrbuch 1823, VII, 221) erst im Jahre 1812 den Anfang zur Ausarbeitung seines Systems gemacht zu haben.

Endlich noch einige VVorte zu meiner Entschuldigung, daß ich als junger Mann mich für berechtigt halte, gegenüber Hrn. Haidinger aufzutreten. Hr. Haidinger selbst kann mir dieß am wenigsten übelnehmen; denn, wenn ich aufrichtig bedauern muß, gegen den Ausspruch eines Mannes von Haidingers Verdiensten aufzutreten, so ist doch die Befriedigung noch größer, welche ich darin fühle, für meinen großen Lehrer zur Vertheidigung in die Schranken zu treten.

Nicht Uebelwollen gegen Mohs und seine Schule veranlaßte, sondern reine Verehrung gegen meinen Lehrer, Hrn. Geh. Rath VVeifs, verpflichtete mich zu dieser Erklärung.

	f. grünes Licht.	f. blaues Licht.
Neigung der scheinbaren Axen zu einander	76° 59 $\frac{1}{2}$ '	75° 50'
Neigung der unteren Axe zur Platte:	50 51	51 46
Neigung der oberen Axe zur Platte:	52 10 $\frac{1}{2}$ '	52 26
	<hr/> 180° 1'	<hr/> 180° 2'

Die Summe dieser drei Winkel muß in dem Fall, daß die Platte genau senkrecht zur symmetrisch theilenden Ebene geschliffen ist, genau = 180° seyn, weil dann die scheinbaren Axen gar nicht aus der symmetrisch theilenden Ebene heraustreten. Sowie aber die geschliffene Fläche von dieser senkrechten Lage abweicht, so treten die scheinbaren Axen aus dieser Ebene heraus, dann wird die Summe jener drei Winkel kleiner als 180°, und um so kleiner, je mehr die angeschliffene Fläche abweicht. In unserem Fall haben wir die Summe der drei Winkel für drei Farben ein wenig größer gefunden als 180°, ein Beweis, daß die Fläche sehr nahe senkrecht zur symmetrisch theilenden Ebene angeschliffen war. Der Ueberschufs über 180° ist jedenfalls Fehlern in der Messung zuzuschreiben; wir wollen daher bei gelb für jeden der drei Winkel $\frac{1}{3}$ (0° 1 $\frac{1}{2}$ '), bei grün $\frac{1}{3}$ (0° 1'), bei blau $\frac{1}{3}$ (0° 2') abziehen, so daß die Summe der drei Winkel jedesmal genau = 180°, d. h. die Platte als genau senkrecht zur symmetrisch theilenden Ebene angeschliffen betrachtet wird.

Was die Winkel für roth betrifft, so haben wir zwar kein Recht, an denselben etwas zu ändern; wenn wir indessen für die drei andern Farben die Ebene der scheinbaren Axen als mit der symmetrisch theilenden zusammenfallend betrachten, so werden wir dies auch für roth thun müssen. Wir legen daher bei roth zu jedem der drei Winkel $\frac{1}{3}$ (0° 1') = 0° 0' 20" zu, was an dem Resultat jedenfalls auch nur Sekunden ändern wird, dafür aber eine viel einfachere Berechnung des Winkels der wahren Axen zuläßt.

Die Ebene des Papiers sey die Ebene der optischen Axen, ab (Fig. 8) die angeschliffene Fläche, NP die Normale zu derselben, sP und $s'P$ die scheinbaren optischen Axen, oP und $o'P$ die wahren optischen Axen, so findet sich der Winkel der wahren Axen $oPo' = oPN' + o'PN'$ ganz einfach aus den beiden Proportionen:

$$\sin oPN' : \sin sPN = \frac{1}{n} : 1$$

$$\sin o'PN' : \sin s'PN = \frac{1}{n} : 1$$

wo n den mittleren Brechungscoëfficienten in unserem Salze bezeichnet. Um diesen zu bestimmen schliff ich ein Prisma, dessen brechende Kante möglichst genau senkrecht war zur symmetrisch theilenden Ebene; der brechende Winkel p desselben fand sich:

$$p = 52^\circ 35'$$

und das Minimum der Ablenkung D :

im rothen Licht:	28° 31'
» gelben »	28 55
» grünen »	29 15
» blauen »	29 39

woraus die Brechungscoëfficienten folgen:

für rothes Licht:	1,46772
» gelbes »	1,47369
» grünes »	1,47866
» blaues »	1,48461

Gern hätte ich zur größern Sicherheit dieselbe Bestimmung noch an einem zweiten Prisma gemacht; leider fand ich aber keinen zweiten Krystall mehr von hinreichender Größe und Durchsichtigkeit, um daraus ein Prisma zu schleifen. Indefs stimmen die eben berechneten Zahlen so ziemlich überein mit dem Werth, den Hr. Sénarmont in seiner Abhandlung über die optischen Eigenschaften doppelt brechender isomorpher Körper (s. diese Annalen Bd. LXXXVI, S. 35) für dieses Salz gefunden hat. Hr. Sénarmont giebt nämlich den Brechungscoëfficienten (wahr-

scheinlich für den mittleren Theil des Spectrums) = 1,483 an, während nach meinen Messungen diese Zahl der blauen Farbe entsprechen würde.

Wir wählen also für die Neigung der scheinbaren optischen Axen zur Platte folgende Werthe:

	<i>sPa</i>	<i>s'Pb</i>
im rothen Licht:	50° 20' 20"	52° 13' 20"
» gelben »	50 27	52 5 30
» grünen »	50 50 40	52 10 10
» blauen »	51 45 20	52 25 20

also für die Neigung der scheinbaren Axen zur Normale:

	<i>sPN</i>	<i>s'PN</i>
im rothen Licht:	39° 39' 40"	37° 46' 40"
» gelben »	39 33	37 54 30
» grünen »	39 9 20	37 49 50
» blauen »	38 14 40	37 34 40

Wir haben also hier das Auffallende, daß auf der einen Seite die Farben sich nicht in der gewöhnlichen Ordnung folgen, sondern haben von der Normale der Platte ausgehend zuerst die blauen, dann die rothen, dann die gelben und darauf die grünen scheinbaren Axen; auf der andern Seite aber haben wir ganz regelmäsig erst die blauen, dann die grünen, gelben und rothen Axen (Taf. V. Fig. 9). Zugleich liegen die Axen auf jener Seite viel näher beisammen, als auf dieser. Dieß unregelmäßige Austreten der scheinbaren Axen giebt auch dem Ringsystem dieser Seite ein so unsymmetrisches Aussehen, wie ich dieß noch bei keinem 2- und 1gliedrigen Krystall gesehen habe.

Diese Unregelmäßigkeit trifft aber nur die scheinbaren Axen; in den wahren finden wir völlige Uebereinstimmung mit dem Verhalten des Diopsid. Mit Hülfe der angeführten Brechungscoefficienten finden wir nämlich für die Winkel der wahren Axen zur Normale die Werthe:

	<i>o'PN</i>	<i>o'PN'</i>
im rothen Licht:	25° 46' 34"	24° 40' 10"
» gelben »	25 35 58	24 38 23
» grünen »	25 16 44	24 30 21
» blauen »	24 38 33	24 15 12

also die Neigung der wahren Axen *oPo'*:

im rothen Licht:	50° 26' 44"
„ gelben „	50 14 21
„ grünen „	49 47 5
„ blauen „	48 53 45

Die wahren Axen haben also auf beiden Seiten blau inwendig, roth auswendig, gelb unmittelbar nach roth, und grün nach gelb (Taf. V. Fig. 9). Wie beim Diopsid sind aber die rothen und blauen Axen auf der einen Seite viel weiter von einander entfernt, als auf der andern, nämlich auf jener um 1° 6', auf dieser blofs um 0° 25', woraus also wieder die Dispersion der Elasticitätsaxen für die verschiedenen Farben folgt. Der Winkel zwischen den Mittellinien der verschiedenen Farben findet sich aus den angeführten Werthen leicht; es bilden dieselben nämlich mit der Normalen folgende Werthe:

für rothes Licht:	0° 33' 12"
„ gelbes „	0 28 48
„ grünes „	0 23 12
„ blaues „	0 11 41

Für die extremen Farben roth und blau gehen also die Mittellinien um etwa 0° 21' auseinander. Gerne hätte ich an dem Krystall, aus dem ich die Platte schliiff, natürliche Krystallflächen unversehrt gelassen, um aus der Neigung der angeschliffenen Fläche zu jenen die Beziehungen der Mittellinien zu der krystallinischen Structur herzuleiten; es war mir diefs aber unmöglich, da beim Schleifen die ohnehin nicht ganz klaren Flächen immer etwas nafs wurden, und so die Eigenschaft zu spiegeln ganz verloren. Die beiden betrachteten Beispiele desjenigen Falls 2- und 1gliedriger Krystalle, bei denen die Ebene der optischen Axen für alle Farben mit der symmetrisch theilenden Ebene zusammenfällt, stimmen allerdings darin überein, dafs die wahren Axen derselben Farbe zu beiden Seiten inwendig, und ebenso die wahren Axen derselben Farbe auswendig sind. Möglich bleibt es aber deswegen doch, dafs es auch solche Krystalle gebe, bei denen auf der einen Seite für

die wahren Axen roth inwendig, blau auswendig, auf der andern Seite aber umgekehrt blau inwendig und roth auswendig ist. Es wird daher gewiß interessant seyn, weitere Beispiele, und besonders künstliche Salze in dieser Beziehung näher kennen zu lernen; nur darf man nicht vom Verhalten der scheinbaren Axen auf dasjenige der wahren schliessen, wie die beiden betrachteten Beispiele aufs klarste beweisen; sondern um das Verhalten der wahren Axen kennen zu lernen, ist die Kenntniß des mittleren Brechungscoëfficienten unumgänglich nothwendig, was freilich die Untersuchung künstlicher Salze bedeutend erschwert.

3. Feldspath.

Eine bereits angeschliffene Platte eines glasigen Feldspaths war im Besitz des Hrn. Geh. Rath Mitscherlich; dieselbe zeigte die Ringe im polarisirten Licht, und die unsymmetrische Farbenvertheilung zu beiden Seiten der Ebenen der optischen Axen so deutlich, wie ich dies noch nie vorher gesehen hatte. Betrachtet man diese Ringe durch ein blaues Glas, das bloß Strahlen von sehr geringer und solche von sehr großer Brechbarkeit durchläßt, dagegen die mittleren ganz auslöscht, so wird man sich schon durch diesen Anblick vollkommen überzeugen, daß die Ebenen der optischen Axen für blau und roth nicht zusammenfallen; rothe und blaue Ringsysteme sind ganz getrennt zu sehen, die vier Mittelpunkte fallen aber nicht mehr in Eine Ebene, sondern die Verbindungslinien der Mittelpunkte der rothen und blauen Ringe sind zwei gerade Linien, die nicht unbedeutend von einander entfernt sind. Indefs habe ich auch am Feldspath über die Größe des Auseinandergehens der Ebenen der optischen Axen messende Bestimmungen gemacht.

Ich fand zunächst in der eben erwähnten Platte als Winkel der scheinbaren optischen Axen folgende Werthe:

im rothen Licht:	28° 48'
„ gelben „	30 46
„ grünen „	33 26
„ blauen „	36 14

Hr. Geh. Rath Mitscherlich hatte nun die Güte, mir noch ein zweites Stück eines glasigen Feldspath zu überlassen, aus dem ich noch eine Platte und ein Prisma zur Bestimmung der Brechungscoefficienten schleifen liefs ¹⁾. Diese zweite Platte zeigte nun merkwürdiger Weise folgende Winkel der scheinbaren optischen Axen:

im rothen Licht:	42° 16' 30"
„ gelben „	41 3 30
„ grünen „	39 1
„ blauen „	35 50

Während also bei der ersten Platte die Winkel für roth am kleinsten sind, und dann bis blau fortwährend zunehmen, sind dieselben umgekehrt bei dieser zweiten Platte für roth am grössten, und nehmen bis blau immer ab. Der kleinste Winkel der letzten Platte ist nahe gleich dem grössten der ersten, d. h. für blau sind die Winkel bei beiden Platten nahe gleich. Doch wird dieß ein Zufall seyn, ohne irgend ein Moment zur Erklärung dieser merkwürdigen Verschiedenheiten an die Hand zu geben.

Hr. Geh. Rath Mitscherlich gab mir nun noch ein drittes Stück zur Untersuchung, und es zeigte die daraus geschliffene Platte folgende Winkel der scheinbaren Axen:

im rothen Licht:	41° 27'
„ gelben „	40 23 30"
„ grünen „	38 17
„ blauen „	39 4

Diese Werthe stimmen mit denen der zweiten Platte wenigstens darin überein, daß die Winkel für roth am grössten, und für blau am kleinsten sind; auch sind die absoluten Werthe der einzelnen Farben nicht so weit von einander entfernt, als daß sich diese Differenzen nicht durch die verschiedene Lage der angeschliffenen Flächen zum ersten blättrigen Bruch erklären lassen.

1) Da ich von vorn herein nicht genau wußte, um wie viel die Ebenen der optischen Axen gegen den ersten blättrigen Bruch geneigt sind, so bat ich Hrn. Pistor die Fläche so anzuschleifen, daß dieselbe zum ersten blättrigen Bruch nahe senkrecht, und das Prisma so, daß dessen Basis mit dem ersten Bruch nahe parallel wäre.

rigen Bruch erklären ließen. Bevor ich zur Berechnung der wahren Axen übergehe, will ich gleich noch einige Messungen anführen, die ich schon im Winter vorher in Königsberg an einer Platte eines glasigen Feldspath von Hrn. Prof. Neumann, aber nur in zwei verschiedenen Farben ausgeführt hatte; diese Platte ergab folgende Winkel:

im rothen Licht:	43° 39'	} Temperatur: 12° C.
„ gelben „	42 40' 30"	

Auch diese Werthe stehen denen der beiden letzten Platten nicht so ferne, daß sie nicht durch die verschiedene Lage der angeschliffenen Fläche erklärt werden könnten; zu dem kommt noch, daß diese Messung bei einer Temperatur angestellt wurde, die um 6° niedriger ist als das Minimum der Temperatur bei den früheren Messungen.

Was jene erste Platte betrifft, so ist deren abnormes Verhalten um so auffallender, als dieselbe von demselben Fundort ist, wie die zweite und dritte, nämlich aus dem Trachyt-Conglomerat von Rokeskil in der Eifel. Leider war von demselben Stück, aus dem die erste Platte geschliffen war, kein Material mehr vorhanden, um daraus noch ein Prisma zu schleifen. Bei der großen Verschiedenheit in den Winkeln der optischen Axen durfte ich aber zur Berechnung der wahren Axen für dieses Stück nicht dieselben Brechungscoefficienten anwenden, die sich aus dem Prisma des andern Stücks ergaben. Ich muß daher darauf verzichten, für diese Platte die Winkel der wahren Axen und die Dispersion der Ebenen der optischen Axen zu bestimmen, mache aber mit Beziehung auf die sonderbaren Verschiedenheiten dieser glasigen Feldspäthe schon jetzt aufmerksam auf ähnliche Unterschiede, die wir nachher beim Adular treffen werden.

Das oben erwähnte Prisma, aus demselben Stück geschliffen, wie die zweite Platte, hatte folgenden brechenden Winkel:

$$p = 57^{\circ} 36'$$

und als Minimum der Ablenkung fand sich:

für rothes Licht:	36° 52'
» gelbes »	37 6
» grünes »	37 21
» blaues »	37 46

woraus sich folgende Brechungscoefficienten ergeben:

für rothes Licht:	1,52386
» gelbes »	1,52673
» grünes »	1,52979
» blaues »	1,53488

Um die Winkel der wahren Axen zu erhalten, maße ich nun ferner an der zweiten Platte die Neigung der scheinbaren Axen zur angeschliffenen Fläche, und fand ¹⁾:

	links	rechts
für rothes Licht:	67° 23' 30"	68° 0'
» gelbes »	67 51 30	68 28 30"
» grünes »	68 42 30	69 20 30
» blaues »	69 57	70 21

woraus als Neigung zur Normale der Platte die Werthe folgen:

	links	rechts
für rothes Licht:	22° 36' 30"	22° 0'
» gelbes »	22 8 30	21 31 30"
» grünes »	21 17' 30	20 39 30
» blaues »	20 3	19 39

Denken wir uns nun wieder eine Kugel um den Mittelpunkt des Feldspath-Systems gelegt, so möge dieselbe von der Normale des ersten blättrigen Bruchs in *p* (Fig. 10) von der Normale der angeschliffenen Fläche in *N*, und von den beiden scheinbaren optischen Axen in *s* und *s'* geschnitten werden. Im Dreieck *sNs'* sind alle drei Seiten

- 1) Alle diese Messungen beim Feldspath sind nicht so genau, wie beim Diopsid; sie differirten im Maximum 5 bis 6 Minuten; dafür habe ich aber am Feldspath immer mindestens 5mal dieselbe Messung an verschiedenen Tagen wiederholt, und deren Mittel sind die hier angeführten Zahlen. Der Grund dieser größeren Differenzen in den einzelnen Messungen beim Feldspath ist der, daß die Ringe viel größer sind als beim Diopsid, so daß man unmöglich das Fadenkreuz genau auf die Mittelpunkte der Ringsysteme einstellen kann.

bekannt, nämlich ss' als Winkel der scheinbaren Axen zu einander, sN und $s'N$ als Neigung der scheinbaren Axen zur Normale; ferner sind die Brechungscoëfficienten bekannt; mit diesen können die Winkel der wahren Axen zur Normale oN und $o'N$ aus sN und $s'N$, und dann der Winkel der wahren Axen gegen einander oo' ganz ebenso berechnet werden, wie beim Diopsid. — Durch die angeführten Operationen ergeben sich nun folgende Winkel der wahren Axen zu der Normale:

	oN	$o'N$
im rothen Licht:	14° 13' 50,7"	14° 36' 43,5"
„ gelben „	13 54 20,2	14 17 31,8
„ grünen „	13 20	13 43 51,4
„ blauen „	12 39 19,6	12 54 24,4

ferner folgende Winkel der wahren Axen zu einander:

	oo'
im rothen Licht:	27° 22' 35"
„ gelben „	26 33 29,5
„ grünen „	25 13 2,8
„ blauen „	23 7 26

Es ist nun nachzuweisen, daß die Mittellinien für alle Farben in die symmetrisch theilende Ebene fallen, und daß die Ebenen der optischen Axen für alle Farben senkrecht stehen auf der symmetrisch theilenden Ebene. Beide Annahmen werden dann gerechtfertigt seyn, wenn die beiden wahren Axen gleich geneigt sind zum ersten blättrigen Bruch, d. h. wenn:

$$op = o'p.$$

Um die Werthe von op und $o'p$ zu finden, wurden nun noch gemessen die Neigung der angeschliffenen Fläche zum ersten blättrigen Bruch, und die Neigungen der scheinbaren optischen Axen auf beiden Seiten zum ersten blättrigen Bruch.

Als Neigung der angeschliffenen Fläche zum ersten Bruch wurde gefunden

$$89^{\circ} 22' 30''$$

Np aber ist das Complement dieses Winkels, also:

$$Np = 90^\circ 37' 30''.$$

Die Neigungen der scheinbaren Axen zum ersten Bruch wurden gefunden:

	links	rechts
im rothen Licht:	$7^\circ 37'$	$7^\circ 43'$
„ gelben „	7 51	7 57 30''
„ grünen „	8 20	8 27
„ blauen „	9 2 30''	9 6 30

Die Winkel sp und $s'p$ aber oder die Neigungen der scheinbaren Axen zur Normale des ersten Bruchs sind $= 90^\circ$ plus den eben gefundenen Werthen, also

	sp	$s'p$
im rothen Licht:	$97^\circ 37'$	$97^\circ 43'$
„ gelben „	97 51	97 57 30''
„ grünen „	98 20	98 27
„ blauen „	99 2 30''	99 6 30

Nun sind in dem Dreieck sNp alle drei Seiten bekannt; also kann der Winkel sNp gefunden werden. Ist dieser erst bekannt, so sind in dem Dreieck oNp zwei Seiten oN und Np und der eingeschlossene Winkel bekannt; daraus kann die dritte Seite op gefunden werden. Durch ganz dieselben Rechnungen ergibt sich natürlich auch $o'p$. Die Ausführung dieser Rechnung gab nun folgende Werthe:

	op	$o'p$
im rothen Licht:	$95^\circ 12' 58,4''$	$95^\circ 16' 56''$
„ gelben „	95 21 33,7	95 25 48,5
„ grünen „	95 39 48	95 44 21,9
„ blauen „	96 6 15,1	96 8 51,2

Es differiren diese Werthe von op und $o'p$ durchschnittlich um etwa vier Minuten, nicht mehr, als man erwarten mußte, da ja die einzelnen Messungen im Maximum ihrer Differenz weiter auseinander gingen. Wir dürfen daher wohl diese Differenzen als von den Fehlern der Messung herrührend, und die beiden Axen als streng gleich geneigt zum ersten blättrigen Bruch betrachten, woraus also hervorgeht, daß die Mittellinien für alle Farben wirklich in

der symmetrisch theilenden Ebene liegen; wie viel sie aber in derselben auseinander gehen, dies erfahren wir, wenn wir noch die Neigungen der Ebenen der optischen Axen für die verschiedenen Farben zum ersten blättrigen Bruch berechnen, was mit den bereits bekannten Elementen möglich ist.

Es möge in Fig. 10 r den Punkt bezeichnen, wo der Durchschnitt der Ebene der wahren optischen Axen für irgend eine Farbe mit der symmetrisch theilenden Ebene unsere Kugel trifft; dann wird der Kreisbogen rp die Neigung der Ebene der optischen Axen für diese Farbe zum Perpendikel des ersten blättrigen Bruches darstellen. Unter der Annahme, daß $op = o'p$, wird der Winkel orp sowohl, als $o'rp$ ein rechter seyn; $or = o'r$ aber ist bekannt als die Hälfte der wahren optischen Axen; also sind in jedem der beiden Dreiecke orp und $o'rp$ zwei Seiten und ein Gegenwinkel bekannt, woraus die dritte Seite rp berechnet werden kann. Natürlich werden wir für rp aus den beiden Dreiecken orp und $o'rp$ verschiedene Werthe erhalten; wir führen aber nicht die doppelte Rechnung durch, sondern nehmen als zweite bekannte Seite in unserm Dreieck das arithmetische Mittel der beiden gefundenen Werthe op und $o'p$, d. h.:

$$\begin{array}{ll}
 \text{für rothes Licht:} & \frac{1}{2} \left\{ \begin{array}{l} 95^\circ 12' 58,4'' \\ 95 \quad 16 \quad 56 \end{array} \right\} = 95^\circ 14' 57,2'' \\
 \text{für gelbes Licht:} & \frac{1}{2} \left\{ \begin{array}{l} 95^\circ 21' 33,7'' \\ 95 \quad 25 \quad 48,5 \end{array} \right\} = 95^\circ 23' 41,1'' \\
 \text{für grünes Licht:} & \frac{1}{2} \left\{ \begin{array}{l} 95^\circ 39' 48'' \\ 95 \quad 44 \quad 21,9 \end{array} \right\} = 95^\circ 42' 5'' \\
 \text{für blaues Licht:} & \frac{1}{2} \left\{ \begin{array}{l} 96^\circ 6' 15,1'' \\ 96 \quad 8 \quad 51,2 \end{array} \right\} = 96^\circ 7' 33,2''
 \end{array}$$

$or = or'$ aber ist als die Hälfte der wahren Axen:

$$\begin{array}{ll}
 \text{für rothes Licht} & = 13^\circ 41' 17,5'' \\
 \text{„ gelbes „} & = 13 \quad 16 \quad 44,8 \\
 \text{„ grünes „} & = 12 \quad 36 \quad 31,4 \\
 \text{„ blaues „} & = 11 \quad 33 \quad 43
 \end{array}$$

Daraus finden sich dann für die Seite *rp* die Werthe:

für rothes Licht:	95° 24' 11,4"
» gelbes »	95 32 36,4
» grünes »	95 50 34
» blaues »	96 15 11,8

Diefs sind also die Neigungen der Ebenen der optischen Axen zur Normale des ersten blättrigen Bruchs; zur Ebene des ersten blättrigen Bruchs selbst sind sie natürlich um 90° weniger geneigt, d. h. um folgende Winkel, wenn wir die Sekunden, die jedenfalls nicht mehr richtig sind, weglassen:

im rothen Licht:	5° 24'
» gelben »	5 33
» grünen »	5 51
» blauen »	6 15

Die Ebenen der optischen Axen unter sich sind also für die extremen Farben roth und blau um 0° 51' geneigt.

Bestimmte einfache Beziehungen der Ebenen der optischen Axen zur krystallinischen Structur gehen aus diesen Messungen nicht hervor. Sollten solche wirklich existiren, so wäre wohl die nächste Vermuthung die, dafs bei einer gewissen Temperatur die Ebenen für alle Farben unter sich und mit dem ersten blättrigen Bruch selbst zusammenfallen möchten; leider habe ich bis jetzt noch keine Versuche über die durch Temperaturwechsel hervorgerufenen Veränderungen des optischen Verhaltens am Feldspath anstellen können.

Ganz andere Winkel als der glasige Feldspath zeigt nun aber der Adular vom St. Gotthardt; auch von diesem machte ich Messungen an zwei verschiedenen Platten; die eine war bereits angeschliffen im Besitz des Hrn. Geh. Rath Mitscherlich, die andere liefs ich aus einem der von Hrn. Dr. Lusser erhaltenen Stücke anschleifen.

An der ersten Platte fand sich der Winkel der scheinbaren Axen:

für rothes Licht =	123° 5'
» blaues » =	122 2

und an der zweiten Platte:

für rothes Licht = $114^{\circ} 47'$

„ blaues „ = $112^{\circ} 11'$

Vergleichen wir diese Winkel mit den entsprechenden des glasigen Feldspath, so fallen sogleich die großen Differenzen ins Auge; außerdem ist aber auch bemerkenswerth, daß, während beim glasigen Feldspath die Winkel der Axen für die extremen Farben um 6° bis 7° verschieden sind, dieselben bei dem einen Adular bloß um etwa $2\frac{1}{2}^{\circ}$, bei dem andern sogar bloß um etwa 1° differiren. — Was die Lage der Ebenen der optischen Axen zum ersten blättrigen Bruch betrifft, so konnte ich dieselbe beim Adular nicht bestimmen, weil ich kein Material mehr für Prismen zur Bestimmung der Brechungscoefficienten hatte. Beide Platten von Adular waren nahe senkrecht zum ersten blättrigen Bruch angeschliffen, und es treten die Ebenen der optischen Axen ziemlich nahe senkrecht zur angeschliffenen Fläche aus — soweit es wenigstens das bloße Auge beurtheilen konnte — d. h. also ziemlich nahe parallel zum ersten blättrigen Bruch. Jedenfalls ist sicher, daß zwischen glasigem Feldspath und Adular in der Lage der Ebenen der optischen Axen kein so großer Unterschied stattfindet, wie in den Winkeln der Axen selbst.

Auffallend sind endlich noch die Winkeldifferenzen der beiden Adular-Platten unter sich; bei beiden ist zwar der Winkel für roth am größten, für blau am kleinsten; indess ist es leicht möglich, daß es auch Adulare giebt, bei denen, als vollständige Analogie zu den Erscheinungen, die wir beim glasigen Feldspath kennen gelernt haben, die Winkel für blau am größten, für roth am kleinsten sind. Das Gemeinschaftliche haben übrigens alle angeführten Feldspäthe, die glasigen wie die Adulare, daß sie sämmtlich negativ sind, und daß die Mittellinien für alle in der symmetrisch theilenden Ebene liegen; indess soll es auch Feldspäthe geben (s. Beer's Einleitung in die höhere Optik S. 393) bei denen die Normale der symmetrisch theilenden Ebene gemeinsame Mittellinie für alle Farben ist, so daß

man bloß noch positive Feldspäthe zu finden brauchte, um am Feldspath allein fast alle möglichen Fälle des optischen Verhaltens repräsentirt zu sehen.

Es fragt sich nun, wie sind diese auffallenden Erscheinungen am Feldspath zu erklären? Würden die Differenzen bloß zwischen dem glasigen Feldspath und dem Adular auftreten, so könnte man geneigt seyn, mit Beziehung auf die Arbeit von Sénarmont (Diese Annalen Bd. LXXXVI, S. 35) die Erklärung in der Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung zu suchen. Da aber bei den einzelnen Platten von glasigem Feldspath sowohl, als von Adular sich ganz bedeutende Verschiedenheiten finden, so fällt diese Erklärung weg. Sollte sie nicht eher in den Einflüssen zu suchen seyn, denen die verschiedenen Feldspäthe bei ihrer Bildung unterworfen waren? Ich wage keine Vermuthung auszusprechen, will aber zum Schlusse noch einige Beobachtungen mittheilen, die einen Blick werfen lassen in die merkwürdig verschiedenen und unregelmäßigen Spannungsverhältnisse im Innern der Feldspäthe.

Ich habe nämlich außer den erwähnten noch etwa 5 andere Adular-Platten untersucht aus Stücken, die ich theils von Hrn. Escher von der Linth theils von Hrn. Kranz in Bonn erhalten hatte. Alle diese Krystalle waren ebenso vollkommen klar und homogen, wie die zwei, von denen ich eben Messungen mitgetheilt; doch zeigte von diesen 5 Platten nicht Eine die regelmäßigen Ringe, sondern es waren dieselben so zerrissen und verzerrt auch im homogenen Licht, daß von einer Messung keine Rede seyn konnte.

Ganz im Zusammenhang mit diesen unregelmäßigen optischen Erscheinungen, scheint mir der Umstand zu stehen, daß die Krystallwinkel beim Feldspath innerhalb ziemlich weiter Gränzen schwanken; als Beleg hierfür führe ich noch folgende Messungen an, die ich an neun verschiedenen Krystallen mit klar spiegelnden Flächen ausgeführt habe, von denen ich nicht mit Grund einen dem andern vorziehen könnte.

	Neigung der gewöhnl. Säulenfl. zum 1. blättrigen Bruch.	Neigung der 10seitigen Säule an der Axe b.	Neigung der 10seitigen Säule zum 1. blättrigen Bruch.
1	112° 8'		
2		121° 41½'	77° 40'
3		121° 21½'	
4			77° 35'
5		121° 18½'	
6	112° 13½'		77° 31'
7		121° 20½'	77° 38'
8	112° 1½'		
9		121° 27'	

Ich glaube nicht, daß in einer dieser Messungen der Fehler der Messung $1\frac{1}{2}$ oder 2 Minuten übersteige, woraus also bei denselben Winkeln einzelner Individuen Differenzen von 20 Minuten hervorgehen.

In Beziehung auf eine Bemerkung in den »Berichtigungen und Zusätzen zu der Einleitung in die höhere Optik von Beer«, die sich auf eine frühere Arbeit von mir bezieht, bemerke ich hier, daß dieselbe Grund hat. In der That ist in meiner Arbeit »Untersuchungen über die Brechung des farbigen Lichts in einigen krystallinischen Medien« (s. diese Ann. Bd. LXXXVII, S. 454) beim Beryll der gewöhnliche Strahl mit den ungewöhnlichen verwechselt worden, so daß der Beryll ein negativer Krystall ist, wofür er auch bisher gehalten worden.

II. Ueber die Gesetze der Entwicklung von Wärme und mechanischer Kraft durch den Schließungsdraht der galvanischen Kette; von J. H. Koosen.

(Schluß von S. 451.)

Bisher haben wir die Fälle untersucht, in welchen die Verminderung des Batteriestromes und der dadurch in der Zeiteinheit bewirkte Kraftverlust im Allgemeinen mit der Zeit veränderlich und eine Function der letzteren sind; wir haben jetzt noch Einen ähnlichen Fall zu untersuchen, in welchem aber die Verminderung des Batteriestromes constant bleibt und ebenso die auf der Einen Seite als Erwärmung des Schließungsdrathes verschwindende und in einer anderen Form wieder freiwerdende Kraftmenge in jedem Zeitpunkte constant bleibt; dieser Fall betrifft die Einschaltung einer Zersetzungszone in den Leitungsdraht, von welchem wir jetzt annehmen, daß er gerade ausgespannt sey und also keine andere Ursache zur Verminderung der Stärke des Batteriestromes vorhanden als die in der Zersetzungszone hervorgerufene chemische Thätigkeit. Bekanntlich findet, sobald eine Zersetzungszone eingeschaltet wird, sofort eine bedeutende und constant bleibende Schwächung des Batteriestromes J statt, die sogar in gewissen Fällen den wirklich entstehenden Strom i bis zum Verschwinden bringen kann. Immer muß aber auch hier die im Leitungsdrahte in der Zeiteinheit verschwindende Kraft $= a \cdot w \cdot (J - i) i$ seyn, nach der oben angegebenen Schlußfolge. Zugleich wird aber in demselben Zeitraume durch die entstehenden Zersetzungsproducte in der Zelle eine chemische Kraft entwickelt, welche, wenn wir sie auf mechanische Krafteinheiten reduciren und wenn auch hier das Gesetz vom Gleichgewicht der consumirten und der entwickelten Kräfte in der galvanischen Kette stattfinden soll, ebenfalls gleich der obigen GröÙe $a \cdot w \cdot (J - i) i$ seyn muß, wie es in der That nachgewiesen werden kann.

Die in der Zersetzungszelle freiwerdende chemische Kraft läßt sich auf Wärme- und mechanische Einheiten zurückführen, wenn wir die entwickelten Zersetzungsproducte wieder durch einen Schließungsdraht abgesondert zu einer galvanischen Kette verbinden und aus der Stärke des so entstehenden Stromes, multiplicirt in dessen Dauer, die auf diesem Wege als Erwärmung der neuen Schließung freiwerdende Kraftmenge bestimmen; dieser Strom wird nämlich so lange dauern, bis die Producte der Zersetzung sich wieder vereinigt haben, und die Flüssigkeit in der Zersetzungszelle befindet sich dann in demselben Zustande wie zuvor.

Nun sind durch Versuche die beiden folgenden Sätze über die Zersetzung der Elektrolyse bekannt: die elektromotorische Kraft i des wirklich während der Zersetzung sowohl in der Batterie wie in der Zersetzungszelle cirkulirenden Stromes ist gleich der Differenz der elektromotorischen Kraft der Batterie und derjenigen, welche die Producte der Zersetzung miteinander bilden. Die elektromotorische Differenz dieser Zersetzungsproducte ist also $= J - i$; ferner gilt das bekannte Gesetz, daß die Mengen der in der Zeiteinheit durch irgend einen Strom entwickelten Zersetzungsproducte sich zur Quantität des durch denselben Strom in der Batterie gelösten Zinkes verhalten, wie die entsprechenden chemischen Aequivalente. Wir nannten aber oben z die in der angewandten Batterie in der Zeiteinheit durch die Einheit des Stromes gelöste Zinkmenge; der Strom i wird daher in der Zeiteinheit die Zinkmenge zi in der Batterie lösen, zugleich aber an Jeder der Elektroden die Menge nzi eines Stoffes ausscheiden, dessen chemisches Aequivalent sich zu dem des Zinks wie $n:1$ verhält. Verbinden wir nun die Elektroden der Zersetzungszelle zu einer neuen Kette, nachdem die Batterie ausgeschaltet, mittelst eines Schließungsdrahtes, der den Widerstand in der neuen Kette genau dem in der ersten Kette gleich macht, so wird vermöge der elektromotorischen Differenz $J - i$ der an den Elektroden haftenden

Zersetzungsproducte ein constanter Strom von der Intensität $J-i$ entstehen, welcher in der Zeiteinheit in der ganzen Schließung die Wärmemenge $w.(J-i)^2$ oder die mechanische Kraft $a.w.(J-i)^2$ entwickelt, und der so lange andauert bis die Zersetzungsproducte sich wieder mit einander verbunden haben. Nun sahen wir oben, daß der Strom i , wenn er durch die Zersetzungszone ging, in der Zeiteinheit $n.z.i$ Mengen eines Zersetzungsproductes an irgend Einer der Elektroden ausschied; für den Strom $(J-i)$ wird nach dem bekannten Grundsatz der Elektrolyse $n.z.(J-i)$ die Gewichtsmenge der ausgeschiedenen, und wenn dieser Strom in umgekehrter Richtung hindurchgeht, die Menge der wieder mit einander vereinigten Zersetzungsproducte seyn; in der Zeiteinheit verschwindet daher durch den neuentstandenen Strom $(J-i)$ von jeder Elektrode die Menge $n.z.(J-i)$ des Zersetzungsproductes; die ganze Menge des durch den Batteriestrom in der Zeiteinheit ausgeschiedenen Stoffes betrug jedoch $n.z.i$; es wird daher, nachdem der Strom $(J-i)$ hat $\frac{n.z.i}{n.z.(J-i)}$ Zeiteinheiten gedauert, aller vorher zersetzte Stoff wieder zu der ursprünglichen chemischen Flüssigkeit vereinigt seyn, und da in der Zeiteinheit durch den Strom $(J-i)$ die mechanische Kraft $a.w.(J-i)^2$ frei wird, so wird, wenn die Flüssigkeit in der Zelle wieder dieselbe ist, wie vor der Zersetzung, die Kraftmenge $\frac{n.z.i}{n.z.(J-i)} . a.w.(J-i)^2$ gleich $a.w.(J-i)i$ im zweiten Schließungsdrahte entwickelt worden seyn, also dieselbe Größe, welche während der Zersetzung im ersten Schließungsdrahte verschwand.

Dieser Beweis läßt sich auch noch auf andere Weise darstellen: Wenn man nämlich nach der Zersetzung die Elektroden durch einen Draht schließt, der den Widerstand der neuen Schließung nicht gleich dem in der früheren macht, der aber so beschaffen ist, daß durch diesen Widerstand W und die elektromotorische Differenz der Zersetzungsproducte $(J-i)$ ein Strom $\frac{(J-i)}{W}$ entsteht, welcher

die Wiedervereinigung dieser Producte in demselben Zeitraume bewirkt, in welchem sie ausgeschieden sind; dann ist die freigewordene Kraft proportional $\frac{(J-i)^2}{W^2}$ und braucht nicht erst mit einer Zeitdauer multiplicirt zu werden, weil hier die Zersetzung und die Wiedervereinigung der Stoffe in gleichen Zeiträumen geschieht. Um aber die in der gesamten Leitung entwickelte Wärmemenge zu erhalten, muß die durch die Einheit des Stromes entwickelte Wärmemenge w noch mit dem Widerstande der neuen Leitung W , nach den bekannten Gesetzen der Wärmeentwicklung, multiplicirt werden; die ganze durch die Wiedervereinigung der Zersetzungsproducte erhaltene mechanische Kraft ist dann $a \cdot w \cdot W \cdot \frac{(J-i)^2}{W^2}$; nun ist aber durch den neuen Strom $\frac{(J-i)}{W}$ in der Zeiteinheit dieselbe Menge *n. z. i.* von Zersetzungsproducten wieder vereinigt worden, welche vorher in derselben Zeiteinheit durch den Batteriestrom von der constanten Stärke i , der aber in umgekehrter Richtung durch die Zelle ging, ausgeschieden wurde; beide Stromstärken müssen daher einander gleich seyn, woraus $W = \frac{J-i}{i}$, welches, in den obigen Werth für die in der zweiten Schließung frei werdende mechanische Kraft eingesetzt, diese gleich $a \cdot w \cdot (J-i)i$ macht, was zu beweisen war.

Der Ausdruck $(J-i)i$ hat, wenn J als constant, i als unbestimmt angesehen wird, die Eigenschaft ein Maximum zu werden, wenn $i = \frac{1}{2}J$ ist. Mit einer gegebenen Batterie von der elektromotorischen Kraft J erhält man daher in einer Zersetzungszone die größte chemische Wirkung innerhalb einer bestimmten Zeit, wenn die elektrolytische Flüssigkeit in der Art gewählt wird, daß die elektromotorische Differenz der ausgeschiedenen Stoffe halb so groß als diejenige der angewandten Batterie ist.

In dem Bisherigen haben wir nachgewiesen, daß die Gesetze der Magnetisirung, der Induction, der Wärmeentwicklung und der Elektrolyse sämmtlich mit Nothwendigkeit

keit auf das Gesetz hinweisen, daß die Summe sämmtlicher in dem galvanischen Kreise geschehenden Wirkungen, wenn dieselben auf mechanische Einheiten reducirt werden, immer proportional und aequivalent der chemischen Action in der Batterie in demselben Zeitraume, d. h. der Quantität des gelösten Zinks, seyn müsse, und daß jeder äußere Einfluß, welche Aenderungen er auch in der Stromstärke herbeiführen mag, auch immer von solchen Erscheinungen begleitet seyn muß, welche die Uebereinstimmung mit jenem Gesetze bedingen. Es wurde aber bisher vorausgesetzt, daß die Beschaffenheit der galvanischen Batterie, d. h. des chemischen Processes, eine bestimmte und unveränderliche sey; obwohl wir daher nachgewiesen, daß für jede bestimmte galvanische Combination die Aequivalenz der chemischen Action und der in der Schließung entwickelten Wirkung stattfinden müsse, so bleibt noch übrig zu zeigen, daß auch demgemäß Batterien von verschiedener Natur, miteinander combinirt, dasselbe Resultat geben, und daß bei noch so verschiedenartigen chemischen Vorgängen in denselben, was die Verwandlung der chemischen Action in mechanische Kraft auf galvanischem Wege betrifft, eine Aequivalenz oder festes Verhältniß zwischen je zwei verschiedenen chemischen Actionen vorhanden seyn müsse; und endlich der Beweis, daß die in der Zeiteinheit entwickelte Quantität des Stromes, welche man gewöhnlich die elektromotorische Kraft nennt, einzig und allein durch die Natur des chemischen Processes in der Kette, nicht aber durch die Differenz der sich berührenden Metalle bedingt wird, und daß z. B. jedes elektronegative Metall einen Strom von derselben elektromotorischen Kraft giebt, so lange der chemische Proceß qualitativ derselbe ist.

Wenn für jede auf galvanischem Wege entwickelte Kraftmenge in der Batterie eine aequivalente Zinkmenge aufgelöst wird, wenn überhaupt chemische Action als ein Aequivalent mechanischer Kraftentwicklung oder Kraftconsumtion angesehen wird, so folgt, daß die auf rein chemischem Wege erfolgende Auflösung einer gleichen

Zinkmenge ebenfalls von einer Kraftentwicklung begleitet seyn müsse, welche weder gröfser noch kleiner als die auf galvanischem Wege freigewordene Kraft seyn darf. Wenn ein Stück Zink in verdünnter Schwefelsäure gelöst wird, und wenn man ein gleiches Stück, welches aber durch Amalgamation vor der chemischen Wirkung geschützt ist, in derselben Säure dadurch löst, dafs man neben derselben ein Stück Platin oder Kupfer oder irgend ein anderes elektronegatives Metall stellt und beide durch einen Draht ausserhalb des Gefäfses miteinander verbindet, — so ist in beiden Fällen der chemische Vorgang derselbe: Dieselbe Menge Zink wird in Schwefelsäure gelöst, dieselbe Wasserstoffmenge wird frei und die elektronegative Metallplatte bleibt unverändert; es mufs also auch durch den ersten rein chemischen Procefs eine Kraftgröfse frei geworden seyn, gleich derjenigen, welche durch die Summe der im zweiten Vorgange in dem gesammten galvanischen Leitungskreise geschehenen Wirkungen frei geworden ist; dies ist offenbar die durch den rein chemischen Procefs entwickelte Wärme. Obwohl der Satz, dafs die durch die chemische und durch galvanische Auflösung gleicher Gewichtsmengen Zink freigewordene Wärmemenge in beiden Fällen dieselbe ist, meines Wissens nie bezweifelt worden, so hielt ich es doch, um jeden Zweifel über dieses Verhältnifs, ohne welches die ganze im Vorhergehenden aufgestellte Theorie zu Boden fallen müfste, vorzubeugen, für unumgänglich notwendig, diese Gleichheit durch Versuche nachzuweisen. Ich bestimmte zunächst die Wärmemenge, welche 1 Gramm Zink entwickelt, wenn es sich in verdünnter Schwefelsäure (9 Th. Wasser 1 Th. Schwefelsäure) so auflöst, dafs der Wasserstoff sich frei entwickelt; diese Wärmemenge fand ich in einer grofsen Anzahl von Versuchen zwischen $0^{\circ},60$ und $0^{\circ},68$, d. h. diese Wärmemenge konnte Ein Kilogramm Wasser um die genannten Centigrade erwärmen. Bei diesen Versuchen wurde die Flüssigkeit zuvor unter die Temperatur der Umgebung erkaltet und der Versuch abgebrochen, wenn die Temperatur der Flüssigkeit diejenige

der Umgebung um eben so viel übertraf; dies ist die bekannte Correctionsmethode bei Bestimmung von in Flüssigkeiten freigewordenen Wärmemengen, um den durch die Umgebung entstehenden Wärmeverlust zu eliminiren. Ich fand bei Anwendung dieser Methode, daß die Wärmemenge, welche bei Auflösung von Einem Gramm Zink frei wurde, um so geringer ausfiel, je größer die Temperaturunterschiede zu Anfang und zu Ende des Versuches waren und je länger der Versuch dauerte; aus diesen Unterschieden schien mir hauptsächlich die Unsicherheit in den angegebenen Resultaten hervorzugehen.

Ich nehme daher diese Gelegenheit wahr, um einige Bemerkungen über diese Correctionsmethode, welche ich als für genaue Messungen nicht hinreichend zuverlässig halte, zu machen. Wenn durch eine constant wirkende innere Ursache, z. B. durch die Auflösung von Zink, eine unter die Temperatur der Umgebung erkaltete Flüssigkeitsmasse langsam erwärmt wird, so wirken jene Ursache und der Einfluß der Umgebung in demselben Sinne, so lange die Temperatur der Flüssigkeit *unter* der der Umgebung ist; sie wirken aber im entgegengesetzten Sinne, so lange die Temperatur der Flüssigkeit *über* derjenigen der Umgebung ist. Der letztere Zeitraum wird folglich größer seyn als die Zeit, welche gebraucht wurde, die Flüssigkeit von ihrer Anfangstemperatur auf die Temperatur der Umgebung zu bringen; folglich wird während der ganzen Dauer des Versuches mehr Wärme an die äußere Umgebung abgegeben als von ihr aufgenommen. Will man daher den Versuch so einrichten, daß dieselbe Wärmemenge nach außen abgegeben und von außen aufgenommen wird, so muß der Versuch eher abgebrochen werden, als die Flüssigkeit den von der obigen Correctionsmethode geforderten Wärmegrad erreicht hat. Nennt man t^0 die Temperatur der Umgebung, t' die unter t^0 gelegene Anfangstemperatur der Flüssigkeit, so läßt sich folgendermaßen die Temperatur t'' , bei welcher der Versuch abgebrochen werden muß, bestimmen; während nämlich bei Anwendung

der obigen Correctionsmethode immer $t'' - t^0 = t^0 - t'$ seyn muß, wird, wenn man die Flüssigkeit genau dieselbe Wärmemenge nach außen abgeben läßt, welche sie von außen aufgenommen, $t'' - t^0$ immer etwas kleiner als $t^0 - t'$ seyn müssen. Es ist nämlich in irgend einem Zeitpunkte τ während eines sehr kleinen Zeittheilchens $d\tau$ die Zunahme der Temperatur der Flüssigkeit

$$dt = a \cdot d\tau + \alpha \cdot (t^0 - t) d\tau,$$

wenn t die veränderliche Temperatur im Zeitpunkte τ bezeichnet und a und α zwei Coëfficienten sind, deren Verhältniß zuvor durch einen besonderen Versuch bestimmt werden muß, von denen der erstere nur von der Natur der inneren Wärmequelle und von der specifischen Wärme der Flüssigkeit, der zweite α , die Abkühlungsconstante, auch von der Natur der Umgebung bestimmt wird. Man erhält dann aus obiger Differentialgleichung für die Bedingung, daß die zwischen den Temperaturen t'' und t^0 nach außen abgegebene Wärme gleich sey der Wärmemenge, welche die Flüssigkeit durch Strahlung und Leitung von außen aufnahm, während ihre Temperatur von t' auf t^0 stieg, die Gleichung

$$t'' - t' = \frac{a}{\alpha} \log \left[\frac{a + \alpha(t^0 - t')}{a + \alpha(t'' - t^0)} \right]$$

oder angenähert

$$t'' - t' = \frac{2(t^0 - t')}{1 + \frac{\alpha}{a}(t'' - t^0)}$$

woraus man leicht in jedem Falle, wo das Verhältniß $\frac{\alpha}{a}$ bekannt ist, den Werth von t'' oder die Temperatur, bei welcher der Versuch abgebrochen werden muß, berechnen kann.

Leider konnte ich diese genaue Methode bei der Auflösung des Zinks in verdünnter Schwefelsäure nicht anwenden, indem die Auflösung und der davon abhängige Coëfficient a mit der Temperatur immer zunimmt; ich mußte mich also mit den oben angegebenen Werthen 0,60 bis 0,68 für die Wärme, welche durch Auflösung von Einem

Gramm Zink in verdünnter Schwefelsäure auf chemischem Wege frei wird, begnügen, obwohl ich diese Werthe für etwas zu klein halte.

Ich versuchte nun auf ähnliche Weise die Wärmemenge zu bestimmen, welche durch die *galvanische* Auflösung von 1 Gramm Zink in derselben Flüssigkeit frei wird. Es wurde, damit keine chemische Wirkung stattfinden könne, amalgamirtes Zink genommen und dasselbe dann mit einer in derselben Flüssigkeit befindlichen Kupfer- oder Silberplatte unter der Flüssigkeit selbst verbunden, so dafs der Vorgang ganz ebenso geschah, als ob die beiden Metalle durch einen Schließungsdraht auferhalb der Flüssigkeit verbunden worden, und man die Summen der Wärmen gemessen, welche in dem Schließungsdrahte und in der Flüssigkeit frei geworden. Die Flüssigkeit wurde dann ebenfalls unter die Temperatur der Umgebung erkaltet und der Versuch abgebrochen, wenn die Temperatur der Flüssigkeit um ebenso viel höher als diejenige der Umgebung gestiegen war. Ich erhielt auf diese Weise für die galvanische Auflösung von Einem Gramm Zink mit Silber die Wärmemengen 0,55 bis 0,60, für die galvanische Auflösung mit Kupfer die Wärmemengen 0,55 bis 0,58. Die galvanische Auflösung des Zinks geht bei Weitem langsamer vor sich, als die chemische; deshalb finden hier in noch größerem Maafse als in diesem Falle die obigen Bemerkungen bezüglich der Unzuverlässigkeit der angewandten Correctionsmethode ihre Anwendung. Berücksichtigt man dies, so wird man nicht umhin können, aus den obigen Zahlen den Schlufs zu ziehen, dafs in der That, wie sich auch von vornherein erwarten liefs, die durch Auflösung von Einem Gramm Zink in Schwefelsäure freiwerdende Wärmemenge dieselbe ist, die Auflösung möge eine chemische oder galvanische seyn.

Eine mit Platin versuchte galvanische Auflösung von Zink gab kein Resultat, da der galvanische Procefs und die Wärmeentwicklung bald so gering wurden, dafs sie keine Messungen erlaubten. Ein Versuch mit Eisen als

elektronegativem Metall gab eine zu große Wärmemenge für Ein Gramm aufgelöstes Zink, indem zugleich eine Auflösung und dadurch veranlaßte anderweitige Wärmeentwicklung des Eisens in der Säure stattgefunden hatte. Aus den genannten Resultaten, so wie aus anderen noch zu erwähnenden bei der Auflösung von Metallen in Säuren hervortretenden Erscheinungen, glaube ich schließen zu müssen, daß nicht nur die Wärmeentwicklung im chemischen und im galvanischen Vorgange dieselbe ist, sondern daß beide Vorgänge ihrem Wesen nach ein und dasselbe sind, daß nämlich die gewöhnliche chemische Auflösung des Zinks in verdünnter Schwefelsäure nur als ein galvanischer Vorgang betrachtet werden darf, bei welchem das elektronegative Metall und der Schließungsdraht in der Zinkplatte selbst sich befinden. Es ist bekannt, daß sogenanntes chemisch reines Zink sich nur sehr schwer in verdünnter Säure löst, daß aber selbst dieses Metall, wenn auch keine fremdartigen elektronegativen Metalle, doch Theile von einem der aller negativsten Körper, Kohle nämlich, in seinem Innern wie an seiner Oberfläche in kleinen Mengen eingeschlossen enthält, und daß also, wenn man die Zinkplatte in die Säure taucht, zahlreiche Partialströme und mithin Auflösung des Zinks auf galvanischem Wege mit Zurücklassung der kleinen Mengen elektronegativer Stoffe erfolgen muß. Die allgemein bekannten Gesetze der chemischen Auflösung der Metalle sprechen ebenfalls für die gegebene Auffassung. Ein Metall löst sich um so schwerer in Säuren auf, je elektronegativer es ist, d. h. je geringer die elektromotorischen Differenzen zwischen ihm selbst und den kleinen ihm beigemengten elektronegativen Stoffen; die elektronegativsten Metalle sind unlöslich, weil alle etwaigen fremden Beimischungen derselben positiver als diese Metalle selbst sind, jene daher durch den entstehenden galvanischen Proceß zuerst aufgelöst werden müssen, und diese unverändert zurückbleiben. Vor Allem aber ist hier das Verhalten des amalgamirten Zinks zu erwähnen, welches durch die sogenannte chemische Ver-

wandtschaftskraft nicht zu erklären ist, wohl aber begreiflich wird, wenn man die Auflöslichkeit des nicht amalgamirten Zinks nicht der durch die sogenannte prädisponirende Verwandtschaft des Metalls zum Sauerstoff entstehenden Wasserzersetzung, sondern dem nie fehlenden galvanischem Vorgange zuschreibt. Bei der Amalgamation hingegen werden alle elektronegativen Bestandtheile, welche sich an der Oberfläche der Zinkplatte befinden, gleichmäßig durch eine Schicht des flüssigen Amalgams bedeckt und so von der Berührung mit der Säure abgesperrt, daß keine Partialströme, mithin auch keine Auflösung des positiven Metalles entstehen kann. Ebenso deuten alle Erscheinungen darauf hin, daß die Säure bei der chemischen Auflösung des unamalgamirten Zinks nur die Rolle eines Leiters übernimmt und durch die Verbindung mit dem entstehenden Zinkoxyd die Oberfläche der elektropositiven Platte metallisch erhält, nicht aber vermöge einer prädisponirenden Verwandtschaft zum Zinkoxyd die Zersetzung des Wassers durch das Zink bewirkt. Die verdünnte Schwefelsäure vermindert durch eine Erwärmung von 20 bis 30° ihren Leitungswiderstand ungefähr um die Hälfte; deshalb lösen sich die Metalle im Allgemeinen in der Wärme leichter auf.

Um das Verhalten des Zinks in verdünnter Schwefelsäure näher kennen zu lernen, wurde eine frische Zinkplatte des gewöhnlichen käuflichen Metalls mit reiner Oberfläche von ungefähr 30 Grm. Gewicht in verdünnte Schwefelsäure (1 Th. Säure auf 9 Th. Wasser) gelegt und der Gewichtsverlust des Zinks von 4 zu 4 Minuten bestimmt.

Die Zinkplatte verlor nämlich an Gewicht

in den ersten 4 Minuten	85 Mgrm.
„ „ zweiten „ „	470 „
„ „ dritten „ „	1395 „
„ „ vierten „ „	1980 „
„ „ fünften „ „	1670 „

und von da an blieb der Gewichtsverlust ziemlich constant. Es wird schon Allen, welche mit Zink experimentirt haben,

aufgefallen seyn wie langsam das frische Metall mit glatter Oberfläche von der Säure angegriffen wird. Diese Erscheinung, welche in den vorstehenden Zahlen deutlich hervortritt, ist durch eine rein chemische Einwirkung der Säure auf das Zink nur sehr schwer erklärbar, denn die Anzahl der Berührungspunkte zwischen Metall und Säure bleibt immer dieselbe und die Wärmeentwicklung war zu gering als daß sie eine Vergrößerung der Wirkung hätte herbeiführen können. Faßt man hingegen den ganzen Vorgang als einen galvanischen auf, so ergibt sich die Erklärung von selbst; in der frischen glatten Oberfläche des Zinks finden sich nur wenig elektronegative Beimischungen; indem aber die Auflösung des Zinks fortschreitet, die elektronegativen Beimischungen aber ungelöst zurückbleiben, treten sie mehr und mehr aus der Oberfläche hervor, wie man dies schon mit bloßem Auge bemerken kann und bieten so, wie es namentlich bei der Kohle der Fall ist, in ihren feinen und porösen Verzweigungen der Flüssigkeit eine immer größer werdende Oberfläche dar. Es ist also ebenso, wie wenn in einer galvanischen Kette, deren elektronegative Platte sehr klein ist im Verhältniß zu anderen, jene eine allmähliche Vergrößerung erfährt, wodurch eine unverhältnißmäßige Verstärkung des Stromes eintritt, die jedoch bei noch weiterer Vergrößerung der Oberfläche weniger bemerkbar ist als am Anfange.

Wenn auch das hier über die Natur der sogenannten chemischen Einwirkung der Säuren auf Metalle Gesagte vorläufig nur für das Zink gilt, indem hier die genannten Erscheinungen am deutlichsten hervortreten, so zweifle ich doch nicht, daß man diese Auffassungsweise auch auf alle anderen Metalle und Säuren wird ausdehnen können, wenn deren Verhalten bei der chemischen und galvanischen Auflösung und den Eigenthümlichkeiten, welche sich bei diesem Vorgange zeigen, die Aufmerksamkeit der Physiker in höherem Grade als bisher zugewendet seyn wird.

Die Gesetze der Induction, Magnetisirung und Wärmeentwicklung durch den galvanischen Strom führten uns

sämmtlich zu dem Satze, daß die gesammten Wirkungen im Schließungskreise der Kette immer ein Aequivalent der in der Batterie auf chemischem Wege freigewordenen Kraft seyen; will man diese Auffassungsweise jedoch für Ketten von verschiedener Construction durchführen, so stößt man auf Schwierigkeiten, welche wohl größtentheils in dem mangelhaften Zustande unserer Kenntniß der chemischen Vorgänge in der Kette, schwerlich aber in der Unrichtigkeit des obigen Gesetzes, ihren Grund haben mögen.

Zunächst ist klar, daß in allen Batterien, in welchen der chemische Proceß derselbe ist, d. h. in welchen die Flüssigkeit und das elektropositive Metall sich gleich bleiben, auch die elektromotorische Kraft *während* des Stromes dieselbe seyn muß, welches auch das elektronegative Metall seyn möge; indem nämlich bei diesen Ketten die wahre während des Stromes fortwirkende Kraft durch die elektromotorische Differenz des Zinks zum Wasserstoff, welcher in einer dünnen Schicht die elektronegative Platte bedeckt, gebildet wird. Man pflegt auch gewöhnlich anzunehmen, daß die elektromotorischen Kräfte aller solcher Ketten, die wie die Wollaston'sche und Smee'sche aus Einer Flüssigkeit (verdünnter Schwefelsäure) und demselben positiven Metalle (Zink) bestehen, einander gleich sind. Um dieß Verhalten jedoch genauer zu prüfen, verband ich zwei solcher verschiedenartiger Ketten mit ihren gleichnamigen Polen miteinander, so daß kein Strom entstehen konnte, wenn die elektromotorischen Kräfte einander gleich waren; eine in den Schließungsdraht eingeschaltete sehr empfindliche Tangentenbussole zeigte, daß dieß allerdings im Allgemeinen der Fall war, oder auch, daß der etwa entstandene Strom durchaus nicht im Verhältniß zu den elektromotorischen Differenzen der negativen Metalle stand, die angewandt wurden, daß also der Strom nicht durch diese sondern durch die Natur der vermöge der chemischen Action ausgeschiedenen Stoffe, d. h. durch die chemische Wirkung selbst bestimmt wurde. Eine völlige Gleichheit der elektromotorischen Kräfte und gänzliche Abwesenheit

des Stromes ist jedoch schwer zu erreichen, indem diese nur bei der völligen Gleichheit der chemischen Wirkung in beiden Ketten stattfindet. Die angewandte Flüssigkeit wie die Thonzellen der Batterien enthalten aber immer Spuren von Metallen gelöst und selbst Salpetersäure, und indem sich diese Metalle oder Spuren von salpetrichter Säure auf die negativen Metallplatten niederschlagen, entstehen Differenzen der elektromotorischen Kräfte in beiden Batterien, die wiederum einen wenn auch sehr schwachen Strom veranlassen, der aber seinen Grund eben in nichts Anderem als in den Differenzen des chemischen Processes selbst hat und nur so lange andauert wie diese. Schließt man Eine der Batterien eine kurze Zeit lang durch sich selbst, so findet, wenn man beide Ketten auf die genannte Weise verbindet, alsdann immer eine kleine Ablenkung der Nadel zu Gunsten derjenigen Batterie statt, welche gar nicht oder nur kürzere Zeit vorher in sich selbst geschlossen war. Diese Erscheinung läßt sich durch eine vollkommnere Bekleidung der negativen Platte jener Batterie mit Wasserstoff, eben so gut aber durch die stattgefundene Zersetzung der Spuren fremdartiger Metalllösungen oder Salpetersäure erklären. Ich glaube aus diesen Versuchen schließen zu müssen, daß in der That die elektromotorische Kraft der Ketten mit Einer Flüssigkeit dieselbe ist, welches auch das elektronegative Metall seyn möge, daß also der stattfindende chemische Proceß allein, nicht aber die elektromotorische Differenz der beiden Metalle die Größe der elektromotorischen Kraft *während* des Stromes bestimmt. Bei Anwendung solcher Metalle als elektro-negativer, welche, wie Eisen, direct und stark von der Flüssigkeit selbst chemisch angegriffen werden, fand ich die obige Gleichheit der elektromotorischen Kräfte nicht bestätigt, vielmehr zeigte sich immer ein Strom zu Gunsten des mehr elektronegativen Metalles; allein hier tritt ein neuer chemischer Proceß ein und das elektronegative Metall ist von einer Auflösung desselben Metalles umgeben und da hier Partialströme zwischen den einzelnen Theilen

der elektronegativen Platte entstehen, so muß der ganze Vorgang in diesem Falle als durchaus verschieden von jenem angesehen werden. Unamalgamirtes Zink giebt mit amalgamirtem Zink in verdünnter Schwefelsäure einen kräftigen Strom, wobei sich das erstere immer negativ verhält; es werden nämlich durch die directe Einwirkung der Säure eine große Anzahl Stellen der unamalgamirten Zinkplatte, diejenigen nämlich, an welchen sich fremde mehr elektronegative Beimischungen befinden, wie es oben auseinander-gesetzt worden, mit Wasserstoff bekleidet und die elektromotorische Kraft, Wasserstoff-amalgamirtes Zink, verursacht dann einen Strom, der aber nie die ganze der genannten elektromotorischen Differenz entsprechende Stärke haben kann, weil nur ein kleiner Theil der Zinkplatte mit Wasserstoff, der übrige Theil aber mit einer Lösung von Zinkvitriol umgeben bleibt.

Von den Ketten, in welchen die elektronegative Platte mit Salpetersäure umgeben ist, wie die Grove'sche, Bunsen'sche u. s. w., ist es bekannt, daß man die elektromotorischen Kräfte aller dieser Combinationen nahezu gleich, und nur von der größeren oder geringeren Concentration der Salpetersäure, nicht aber von der Natur der elektronegativen Platte abhängig gefunden hat. Der chemische Vorgang ist auch bei allen diesen Ketten derselbe, wenn die Salpetersäure so concentrirt ist, daß sich an der elektronegativen Platte nur salpetrische Säure, kein Wasserstoffgas entwickelt; alsdann ist die während des Stromes wirkende elektromotorische Kraft die Differenz: Zink-salpetrische Säure, und genau genommen besteht eine solche Kette aus zwei verschiedenartigen durch die Thonzelle von einander getrennten Batterien, mit den elektromotorischen Kräften Zink-Wasserstoff und Wasserstoff-salpetrische Säure, welche sich nach dem allgemeinen Gesetz der Spannungen zu einander addiren. Bezeichnet J die elektromotorische Kraft einer Kette mit einer Flüssigkeit, $i = nJ$ diejenige derselben Kette, wenn die negative Platte mit Salpetersäure umgeben ist, so muß nach unserer früheren Auseinander-

setzung durch Hinzufügung der Salpetersäure die mechanische Kraftgröße $a.w.(J-i)i = a.w.(1-n)nJ$ durch den unter Vermittelung der Salpetersäure neu entstehenden chemischen Process gebunden oder vielmehr die Kraft $(n-1)nJ$ frei werden; durch den Strom J allein würde daher eine Kraft $\frac{(n-1)nJ}{n} = (n-1)J$ vermöge des in der Salpetersäure vorgehenden chemischen Processes frei; diese Größe $(n-1)J$ ist daher die in der Zeiteinheit zur elektromotorischen Kraft J der einfachen Batterie neu hinzutretende elektromotorische Kraft, und die Summen beider geben in der That, wie es nach dem Gesetze der Spannungsreihe seyn muß, die elektromotorische Kraft der ganzen zusammengesetzten Kette nJ . Deutlicher wird dies Verhältniß noch durch folgende Betrachtungsweise: In der einfachen Kette mit der elektromotorischen Kraft J und dem Strome J in der Zeiteinheit, wird in der Zeiteinheit die mechanische Kraftgröße $a.w.J^2$ entwickelt und die Zinkmenge $z.J$ in derselben Zeit gelöst; $\frac{a.w.J}{z}$ ist also die durch Lösung einer Gewichtseinheit Zink in dieser Kette freiwerdende mechanische Kraftgröße. In der zusammengesetzten Kette mit der elektromotorischen Kraft und der Stromstärke nJ wird in der Zeiteinheit die Kraftmenge $a.w.n^2 J^2$ entwickelt; der Strom nJ löst in derselben Zeit die Zinkmenge $n.z.J$, er geht aber auch noch durch denjenigen Theil der Batterie, in welchem sich die Salpetersäure befindet und bewirkt hier eine neue chemische Action. Wenn aber in der einfachen Kette die Lösung der Zinkmenge $z.J$ eine mechanische Kraftgröße $a.w.J^2$ entwickelt, so kann die in der zusammengesetzten Kette durch den Strom $n.J$ stattfindende Lösung der Zinkmenge $n.z.J$, nach unserem Grundsatz der Aequivalenz von chemischem und mechanischem Effecte, in der Kette auch nur den mechanischen Effect $a.w.nJ^2$ hervorbringen. Die Differenz des wirklich durch den Strom nJ hervorgebrachten Effectes $a.w.n^2 J^2$ und des letzteren:

$$a.w.n^2 J^2 - a.w.n J^2 = a.w.n.(n-1)J^2$$

mufs also aequivalent seyn der neu hinzugekommenen chemischen Action, welche durch die Salpetersäure vermittelt wird. Welcher Art auch diese neue chemische Wirkung seyn mag, so wird die Quantität derselben immer nach dem Gesetze der Elektrolyse bestimmt seyn, indem, wenn der Strom nJ durch die Salpetersäure geht, die Menge des durch diesen Strom zersetzten Stoffes in der Zeiteinheit $nJ.A.z.$ seyn mufs, wenn A das chemische Aequivalent des zersetzten Stoffes bedeutet, dasjenige des Zinks als Einheit angenommen. Wenn aber die Menge $n.J.A.z$ des zersetzten Stoffes die Kraftgröfse $a.w.n.(n-1)J^2$ hervorbringt, so ist $\frac{a.w}{A.z} \cdot (n-1)J$ die durch die Gewichtseinheit, $\frac{a.w}{z} \cdot (n-1)J$ die durch ein Atom des zersetzten Stoffes entwickelte Kraft; diese Gröfse verhält sich aber zu der in der einfachen Kette durch ein Atom Zink hervorgebrachten Kraftgröfse wie die neu hinzugetretene elektromotorische Kraft $(n-1)J$ zu der früher schon vorhandenen elektromotorischen Differenz J . Die elektromotorische Kraft einer Kette ist daher nichts Anderes als die durch ein Atom der stattgefundenen Zersetzungen entwickelte mechanische Kraftgröfse. Bei zusammengesetzten Ketten addiren sich die elektromotorischen Kräfte der einzelnen; es wird aber auch in jeder Kette alsdann ein Atom des betreffenden Stoffes zersetzt, da die Stromstärke die durch die Flüssigkeiten geht, in allen Ketten dieselbe ist.

Nachdem ich nun darzuthun versucht habe, dafs die während der Cirkulation des Stromes in einer einfachen oder zusammengesetzten Kette wirksame elektromotorische Kraft, welche die Gröfse der in der Zeiteinheit hervorgebrachten mechanischen Arbeit aller Theile der Kette bestimmt, einzig und allein durch die elektromotorische Differenz der an den Enden der Kette auftretenden Producte der chemischen Action, d. h. durch diese selbst bedingt ist, und dafs in keinem Augenblicke die elektromotorische Kraft ihrer Gröfse nach anders als durch diese Differenz bedingt

wird, so darf dieß nicht so verstanden werden, als ob die chemische Action die *Ursache* des Stromes und der Contact der Metalle von keinem Einflusse sei; vielmehr ist der Contact der heterogenen Metalle in allen Ketten die nothwendige Bedingung zum Beginne des chemischen Processes. So wie dieser aber begonnen hat, wird sein Fortgang und damit auch die Gröfse der elektromotorischen Kraft in der Kette durch die Natur der im ersten Augenblicke an den Enden der Kette auftretenden Zersetzungsproducte bestimmt und von da an bleibt die elektromotorische Differenz der Metalle als solcher unwirksam. Man kann sich das Verhältniß der ursprünglichen elektromotorischen Kraft der heterogenen Metalle zum chemischen Prozesse ähnlich vorstellen, wie die Wirkung der hohen und dünnen Wassersäule im hydrostatischen Paradoxon. Diese vermag einen ungeheuern *Druck* durch ihre Höhe auszuüben, obgleich ihre Masse sehr gering ist; ebenso ist sie immer, sobald das Gleichgewicht in den beiden ungleich langen Schenkeln gestört ist, die Ursache der eintretenden Bewegung. Aber so wie die letztere beginnt, wird die Gröfse der Bewegung oder der mechanischen Wirkung einzig und allein durch die *Masse* des Wassers im langen Schenkel bestimmt; der Druck und die Höhe der Säule allein haben keinen Einfluß auf die Quantität des mechanischen Effectes, dessen Anfang aber nicht ohne eine gewisse Höhe der Wassersäule möglich ist. Ebenso wird der Beginn der chemischen Thätigkeit in der galvanischen Kette, oder, was dasselbe ist, des Stromes, nur durch den Contact heterogener Metalle möglich gemacht, die elektromotorische Differenz derselben möge groß oder klein seyn; aber jede quantitative Bestimmung der von nun an eintretenden Kraftentwickelungen hängt einzig und allein von der elektromotorischen Differenz derjenigen Stoffe ab, welche als Resultate des chemischen Vorganges an den Enden der Kette auftreten.

In dem Vorstehenden ist zugleich der Schlüssel zu den Erscheinungen der galvanischen Polarisirung gegeben. Wo

eine solche in eingeschalteten Zersetzungszellen auftritt, entspricht die Gröfse der darin in der Zeiteinheit vorgehenden chemischen Wirkung der Verminderung der elektromotorischen Kraft der Batterie; am deutlichsten wird der Vorgang bei eingeschalteter Zersetzungszone, wenn man diese als eine neue Batterie und den ganzen Strom als die Wirkung einer zusammengesetzten Kette betrachtet. Ebenso läfst sich umgekehrt jede aus mehreren gleichen oder heterogenen Ketten zusammengesetzte Batterie so betrachten, als ob nur Eine dieser Ketten die ursprünglich wirksame, die übrigen aber in den galvanischen Kreis eingeschaltete Zersetzungszellen wären; hier tritt aber vermöge der besonderen Natur der Elektroden und der zwischen ihnen befindlichen Flüssigkeit eine dem ursprünglichen in der ersten Batterie herrschenden Vorgänge gleiche oder ähnliche chemische Wirkung auf und die elektromotorische Kraft der gesammten Kette wird durch die Einschaltung der anderen Zellen vermehrt, anstatt vermindert. Der Unterschied von der Zersetzungszone und Batterie liegt blofs in der Benennung, indem wir Zersetzungszone eine eingeschaltete Zelle nennen, wenn die in ihr durch den Strom der ersten Kette erregte elektromotorische Kraft derjenigen in jener entgegengesetzt wirkt; Batterie nennen wir sie, wenn diese elektromotorische Kraft der ursprünglichen gleich gerichtet ist und der gesammte Strom aus der Summe beider hervorgeht. Eine Daniell'sche Kette so in den Schließungsdraht einer Grove'schen Kette eingeschaltet, dafs die gleichnamigen Pole miteinander verbunden sind, ist nichts anders als eine Zersetzungszone; werden die ungleichnamigen Pole miteinander verknüpft, so ist die Eine eben so sehr Quelle der elektromotorischen Kraft des Stromes wie die Andere.

Polarisation in der Kette selbst findet bei allen galvanischen Combinationen nothwendig statt, in sofern man unter Polarisation nichts Anderes versteht, als die Veränderung der ursprünglich durch den Contact der heterogenen Metalle gegebenen elektromotorischen Differenz; denn

da diese Differenz mit dem Vorgange *während* der Circulation des Stromes selbst gar nichts zu thun hat, sondern hier allein die elektromotorische Differenz der Producte der chemischen Zersetzung wirksam ist, so wird Polarisirung im Allgemeinen eintreten müssen. Nur wenn, wie bei der Daniell'schen Kette, das Product der Zersetzung, welches an der negativen Platte ausgeschieden wird, mit dem Stoffe dieser Platte selbst identisch ist, ist keine Polarisirung vorhanden; dieß ist aber etwas ganz Zufälliges, denn man kann, ohne die Kraft der Daniell'schen Kette zu ändern, anstatt des Kupfers irgend ein anderes Metall als negative Platte benutzen, denn da sofort mit dem Eintritt des Stromes die Ausscheidung von Kupfer auf allen wirksamen Theilen der Platte beginnt, so kommt es nicht im Geringsten auf die Stellung an, welche der Stoff der Platte selbst in der Spannungsreihe einnimmt, sondern nur auf die Natur des in jedem Augenblicke durch den Strom selbst ausgeschiedenen Stoffes.

Alle Fällungen elektronegativer Metalle aus ihren Lösungen durch positive Metalle scheinen ganz auf demselben rein galvanischen, nicht chemischen, Vorgange zu beruhen wie die Daniell'sche Kette. Wird ein Stück Zink in eine gesättigte Lösung von Kupfervitriol, oder Bleizucker oder eines Silbersalzes gelegt, so ist aus demselben Grunde, aus welchem oben die Auflösung des Zinks in Säuren abgeleitet wurde, durch die in der Oberfläche des Zinks befindlichen fremden elektronegativen Beimischungen die Veranlassung zu einem Strome gegeben und die Metalllösung dient diesem Strome nur als Leiter. Anstatt daß sich aber an den elektronegativen Stellen Wasserstoff absetzt, wie bei der Auflösung des Zinks in Säuren, wird hier, wenn die Lösung neutral und gesättigt ist, nur das betreffende elektronegative Metall an der Zinkplatte ausgeschieden; von nun an bildet dieß selbst das elektronegative Element in der Kette und bestimmt die Stärke des Stroms vermöge seiner elektromotorischen Differenz mit dem Zink, ganz wie es bei der Auflösung des Zinks in Säuren durch den aus-

ausgeschiedenen Wasserstoff geschah; durch amalgamirtes Zink kann daher die Fällung eines anderen Metalles entweder gar nicht oder nur sehr langsam erfolgen, worüber ich jedoch noch keinen Versuch angestellt habe.

In allen der Daniell'schen Kette analogen Fällen geschieht eine Polarisation der negativen Platte durch Metallablagerung; gewöhnlich pflegt man aber unter Polarisation nur die Wirkung der Bedeckung durch Gase zu verstehen und wenn die erstere Art der Polarisation nach dem Gesagten vollkommen verständlich seyn muß, so giebt sich in der analogen Erklärung der Polarisation der Elektroden durch Gasbedeckung ein Umstand zu erkennen, der diese Erklärungsweise erschwert und uns nöthigt anzunehmen, daß die Schwächung des Stromes durch die Gasbedeckung der Elektroden oder der negativen Platte in der Batterie noch eine andere Ursache als die Veränderung der elektromotorischen Kraft allein habe.

Nachdem ich nämlich die verschiedenen Versuche, welche von Beetz, Edlund u. A. über die Polarisation durch Gase, Veränderung derselben durch Erschütterung und Erwärmung der Elektroden u. s. f. angestellt worden, durchging und zum Theil wiederholte, schien es mir keinem Zweifel unterworfen, daß die Abnahme des Stromes in allen Fällen, wo eine Polarisation durch Gasbedeckung stattfindet, keine plötzliche mit dem Eintritt des Stromes sofort beginnende ist, wie es der oben gegebenen Erklärung nach seyn sollte, sondern daß sie ihr Maximum erst in einer, wenn auch sehr kurzen, Zeit nach Eintritt des Stromes erlangt. Wenn aber, die Polarisation als Veränderung der elektromotorischen Kraft der Kette allein aufgefaßt, auch nur während eines noch so kurzen Zeitraums nach Eintritt des Stromes eine größere elektromotorische Kraft wirksam seyn sollte, als dem Einflusse der Polarisation durch die mittelst des chemischen Processes ausgeschiedenen Stoffe entspricht, so würde dies unserem Grundsatz, daß die während der ganzen Dauer des Stromes wirkende elektromotorische Kraft einzig und allein durch

die Natur des chemischen Processes bedingt sey und daher, so lange sich dieser nicht ändert, auch vollkommen constant bleiben müsse, widersprechen. Es kann daher jede Aenderung in der Stärke der Polarisation während der Dauer des Stromes und wenn die Abnahme der Stromstärke in einem auch noch so kurzen Zeitintervalle vor sich ginge, nicht einer Aenderung der elektromotorischen Kraft zugeschrieben werden, sondern ist nur durch eine Vergrößerung des Widerstandes an den sich mit einer dünnen Gas-schicht bedeckenden Elektroden zu erklären, welche der Strom zu durchdringen hat, und welche das Maximum ihrer Dicke erst eine kurze Zeit *nach* Eintritt des Stromes erreicht, wenn die Entwicklung des Gases in Bläschen, beginnt. Folgender Versuch wird vielleicht zur Aufklärung dieses Verhaltens beitragen: Es scheint allgemein angenommen zu seyn, daß der galvanische Strom nicht durch eine Flüssigkeit geleitet werden könne, ohne dieselbe zu zersetzen, daß die Leitungsfähigkeit einer Flüssigkeit ganz von ihrer mehr oder weniger großen Zersetzbarkeit abhängt und daß die letztere Eigenschaft, ebenso wie etwa bei festen Leitern die Erwärmung derselben, zu einer nothwendigen Bedingung der Fortpflanzung des Stromes durch Flüssigkeiten gehöre. Diese Annahme ist durchaus unrichtig, denn es ist möglich durch jede den Strom leitende Flüssigkeit eine beliebige Menge Elektricität gehen zu lassen, ohne die geringste meßbare chemische Aenderung in der Flüssigkeit hervorzubringen, wenn man den Kunstgriff gebraucht, den Strom in schneller Folge alterniren zu lassen, so daß sich immer die entgegengesetzten chemischen Wirkungen desselben in der Flüssigkeit sofort aufheben, während in den übrigen Leitern der Strom gleich gerichtet bleibt. Diese Methode ist geeignet, sowohl über die Natur der Polarisation wie über andere Eigenschaften des Stromes eine Menge interessanter Aufschlüsse zu geben. Die Einrichtung, welche ich diesem Versuche gab ist diese: Eine $1\frac{1}{2}$ Zoll dicke und 4 Zoll im Durchmesser haltende Scheibe von Mahagony, deren Axe horizontal in

Lagern liegt und mittelst einer Kurbel und Handhabe beliebig schnell um dieselbe gedreht werden kann, ist an ihrer Peripherie mit zwei Metallringen bedeckt, welche darauf mittelst Schellack festgeklebt sind. Jeder dieser Ringe ist bis zur Hälfte seiner Breite gezahnt und enthält zwölf gleiche Zähne mit zwölf Zwischenräumen von genau derselben Weite wie diese Zähne. Ein solcher Ring ist in Fig. 7, *a* Taf. IV dargestellt; der andere Ring entspricht diesem genau in allen Theilen. Beide Ringe werden nun so auf der Holzscheibe befestigt, daß sie die ganze Peripherie derselben bedecken und die Zähne des einen genau in die entsprechenden Lücken des anderen passen, doch so, daß sich beide Ringe in keinem Punkte berühren, sondern eine feine Linie von gleicher Dicke überall zwischen ihnen sich befindet, welche mit Schellack ausgefüllt wird; wie dies Fig. 7, *b* Taf. IV darstellt. Die Metallfedern α und β , welche wenn der Commutator gedreht wird, immer auf denselben ununterbrochenen Theilen der Metallringe schleifen, sind mit den Polen einer Batterie verbunden; zwischen ihnen und der Batterie ist eine empfindliche multiplicirende Tangentenbussole eingeschaltet. Die Federn γ und δ hängen schleifen, wenn die Vorkehrung gedreht wird, so auf den gezahnten Theilen der Metallringe, daß sie immer abwechselnd und in demselben Augenblicke mit verschiedenen Ringen in Berührung kommen; sie gehen von γ und δ aus zu den Elektroden eines Voltameters; der Strom geht also durch dieses immer alternirend, während er durch die Tangentenbussole immer gleich gerichtet geht. Wird nun der Commutator langsam gedreht, so daß etwa zweimal in der Sekunde Stromwechsel eintritt, so kommt bei gleichmäßiger Drehung und bei Anwendung eines Grove'schen Elementes die Nadel der Tangentenbussole bald in eine Gleichgewichtslage; es findet keine oder nur eine höchst geringe Gasentwicklung an den Elektroden statt, da die geringe Menge der während eines Stromdurchganges ausgeschiedenen Gase bei dem nächsten Stromwechsel wieder mit einander vereinigt und dann wiederum an den entgegen-

gengesetzten Elektroden ausgeschieden werden; es geht also ein Strom durch die Flüssigkeit ohne Zersetzung hervorzubringen. Je schneller nun der Commutator gedreht wird, und je häufiger der Stromwechsel im Voltameter erfolgt, desto stärker wird der Strom, und wenn ich die Commutatorscheibe zweimal in der Sekunde umdrehte, also 48 Stromwechsel in der Sekunde hervorbrachte, so wurde der Strom zwei- bis dreimal so stark, als wenn nur zwei Stromwechsel in der Sekunde erfolgten; es wurde also hier ein sehr starker Strom durch das Voltameter ohne bleibende chemische Veränderung der Flüssigkeit geleitet.

Die Erklärung dieser merkwürdig großen Zunahme der Stromstärke mit der Anzahl der Stromwechsel bietet große Schwierigkeiten dar. Nennt man J die elektromotorische Kraft der Batterie, k die elektromotorische Gegenkraft in dem Voltameter, durch die Differenz der Spannungen der beiden ausgeschiedenen Gase bedingt, so ist während jedes einzelnen Stromdurchganges, wenn der Commutator vollkommen gleichmäßig gedreht wird, und man den Leitungswiderstand des gesamten Schließungskreises der Einheit gleich setzt, die elektromotorische Kraft des von der Tangentenbussole angezeigten Stromes im Anfange nach jedem Stromwechsel $J + k$, wird aber hernach $J - k$ indem plötzlich, nachdem die von dem vorigen Stromdurchgange an den Elektroden vorhandenen Gasschichten wieder miteinander vereinigt worden, die entgegengesetzten Gase an diesen Elektroden entwickelt werden. Man kann daher dem von der Bussole angezeigten Strome eine zwischen $J + k$ und $J - k$ in der Mitte liegende und wahrscheinlich nur wenig von J verschiedene elektromotorische Kraft zusprechen; diese wird aber immer etwas kleiner als J seyn müssen, weil das Zeitintervall, während dessen die größere elektromotorische Kraft $J + k$ wirkt, kleiner ist als dasjenige, in welchem die Kraft $J - k$ andauert, indem durch den stärkeren Strom die an den Elektroden haftenden Gase in kürzerer Zeit miteinander wieder vereinigt werden, als sie zu ihrer Ausscheidung durch den schwächeren Strom

$J - k$ gebrauchen. Die genaue Rechnung giebt, dafs man die mittlere Stärke des von der Bussole angezeigten Stromes als durch die elektromotorische Kraft $\frac{(J+k)(J-k)}{J}$ $= J - \frac{k^2}{J}$ erregt ansehen kann; diese Kraft wird im Allgemeinen, wenn die Polarisation k nicht sehr nahe gleich J ist, nur wenig von J verschieden seyn.

Wird nun der Commutator schneller gedreht, so wird die Dicke der Gasschichten, welche am Ende jedes einzelnen Stromdurchganges die Elektroden bedecken, geringer. Nach der gewöhnlichen Ansicht, dafs die elektromotorische Gegenkraft der Polarisation eine gewisse Zeit gebrauche um zu ihrer vollen Stärke zu gelangen, würde bei häufigerem Stromwechsel die Gröfse k in obigem Ausdrucke geringeren Werth erhalten, daher $J - \frac{k^2}{J}$ desto gröfser werden, je schneller der Commutator gedreht wird; allein dieser Grund wird nie eine dreifache Verstärkung des Stromes durch blofse Verminderung der elektromotorischen Gegenkraft der Polarisation zu erklären im Stande seyn, wie ich dieselbe beobachtet hatte, wenn bei kleinen Platinelektroden eine schwache Batterie zur Erregung des Stromes angewandt wird. Indem der Strom in dem Voltameter fortwährend die Elektroden mit einer dünnen Gasschicht bedeckt, kann derselbe von der Flüssigkeit zu den Elektroden nur übergehen, wenn er diese Gasbedeckung der letzteren durchdringt; und indem wir den Gasen eine noch bei Weitem geringere Leitungsfähigkeit wie den Flüssigkeiten zusprechen müssen, ist es klar, dafs überall, wo Polarisation durch Gase stattfindet, der Strom einen weit gröfseren Leitungswiderstand zu überwinden hat, und mithin weit schwächer seyn mufs, als wo solches nicht der Fall ist; ebenso dafs da, wo die Polarisation in einer Weise stattfindet, die nur die Bildung sehr dünner Gasschichten auf den Elektroden erlaubt, wie im obigen Falle bei schnellem Drehen des Commutators, der Leitungswiderstand der Gasschichten geringer und die Stromstärke gröfser wird.

Allein obwohl die Annahme eines solchen durch die Gasbedeckung verursachten Uebergangswiderstandes mehr Wahrscheinlichkeit für sich hat, als die Hypothese, daß die elektromotorische Gegenkraft der Polarisation erst *allmählig* und im Verhältniß der Dicke der bedeckenden Gasschicht ihre Stärke erlangen sollte, so stehe ich doch an mich für die alleinige Erklärung der obigen Erscheinung aus diesem Uebergangswiderstande zu entscheiden, da derselbe sehr groß im Verhältniß zum Gesamtwiderstande der übrigen Theile der Kette seyn müßte. Obwohl bei schnellem Stromwechsel eine eigentliche Gasentwicklung im Voltameter bei Anwendung eines einzelnen Elementes nicht stattfindet, so wird doch ein Theil Gas in sehr feinen Bläschen von den Elektroden ausgeschieden und ein anderer geringer Theil von der Flüssigkeit absorbirt. Die Eigenschaft der Metalle und namentlich des Platins, vermöge deren die Gase auf ihrer Oberfläche haften und, wie es scheint, eine Verdichtung erleiden, wird ein Aufsteigen der Gase in feinen Bläschen und selbst eine Absorption derselben durch die Flüssigkeit des Voltameters um so mehr verhindern, je dünner die Gasdecken sind, welche sich bei jedem Stromdurchgange bilden, je schneller also der Stromwechsel eintritt. In demselben Grade wird die Bildung der neuen Gasschichten während jedes einzelnen Stromdurchganges unter der elektromotorischen Kraft $J - k$ weniger Zeit erfordern, als wenn die Gasdecken bei langsamem Stromwechsel eine größere Stärke erlangen; die Zeit, während welcher die stärkere elektromotorische Kraft $J + k$ wirkt, wird im Verhältniß zur Wirkungszeit der Kraft $J - k$ desto größer werden, je schneller man den Commutator dreht, und daraus wird eine größere mittlere Stromstärke hervorgehen. Dieser Umstand, in Verbindung mit dem Einflusse des durch die Dicke der sich auf den Elektroden bildenden Gasschichten entstehenden Uebergangswiderstandes, scheint mir zur Erklärung der oben beschriebenen Phänomene hinreichend zu seyn. Jedenfalls wird ein genaueres Studium der hieher gehörigen Erscheinungen mittelst des oben be-

schriebenen Apparates zu manchen Aufschlüssen über das Wesen der Polarisation Gelegenheit zu geben geeignet seyn.

Mit der Annahme eines Uebergangswiderstandes an den Elektroden, auf Grund der an denselben haftenden Gasdecken, erklärt sich die *allmähliche* Entstehung der Polarisation im Voltameter wie in der Kette mit einer Flüssigkeit, ohne Weiteres, indem alsdann erst, wenn die Gaschichten eine gewisse Stärke erreicht haben und die Entwicklung der Gase in Bläschen beginnt, der Uebergangswiderstand seinen größten Werth erlangt und die Stromstärke constant wird.

Die Voraussetzung eines allmählichen Anwachsens der elektromotorischen Gegenkraft als solcher, welche ohne jene Annahme nöthig wäre, würde uns zwingen den Grundsatz, von welchem wir in unseren bisherigen Untersuchungen ausgingen, daß nämlich die Summe aller Kraftäufse- rungen in der ganzen Kette in jedem Augenblicke der chemischen Action in der Batterie aequivalent sey, zu verwerfen; wir würden damit zugleich den einzigen Leitfaden aus der Hand geben, an dem es uns möglich war, die verschiedenartigsten Wirkungen der galvanischen Kette unter einen Gesichtspunkt zusammenzufassen und die Gesetze der Magnetisirung, der Induction, der Elektrolyse und der Wärmeentwicklung als nothwendige Bedingungen eines allgemeinen Naturgesetzes, des Gesetzes, daß in jedem Systeme von einander abhängiger Wirkungen die in jedem Zeitpunkte entwickelte Arbeit der consumirten Kraft gleich seyn muß, aufzufassen.

Dresden im Februar 1854.

III. *Beschreibung einer elektromagnetischen Maschine; von J. H. Koosen.*

Bei Entwicklung der Gesetze, nach welchen die Umwandlung der galvanischen Elektricität in Wärme und mechanische Kraft erfolgt, so wie bei anderen Gelegenheiten, habe ich mich vielfach auf Versuche bezogen, welche an elektromagnetischen Maschinen angestellt worden; es dürfte daher nicht überflüssig seyn, hier eine Beschreibung derselben folgen zu lassen, zumal da das System, nach welchem diese Maschinen construirt sind, von den mir sonst bekannten durchaus abweicht.

Viele der Inductionsphänomene lassen sich nur mit Hülfe dieser Maschinen verfolgen, und es war daher hauptsächlich um die Gesetze der hieher gehörenden Erscheinungen zu bestimmen, daß ich bei meinen Versuchen die elektromagnetischen Motoren zu Hülfe nahm. Obwohl es daher nicht darauf abgesehen war, praktische Erfolge mit solchen Maschinen zu erzielen, da ich von vornherein deren Anwendung in der Technik dem gegenwärtigen vervollkommenen Zustande der Dampfmaschinen gegenüber für unausführbar halte, so lange die Chemie nicht ein einfacheres und weniger kostspieliges Material kennen lehrt als Zink und Salpetersäure um einen kräftigen galvanischen Strom zu erzeugen, — so fand ich dennoch die bisher bekannten Systeme von elektromagnetischen Motoren selbst für meine Absichten zu unwirksam; sie geben sämmtlich zu wenig mechanische Kraft im Verhältniß der angewandten Stromstärke. Diesen Uebelstand habe ich mittelst der nun zu beschreibenden Construction zu vermeiden gesucht, und glaube in dieser Maschine das Möglichste erreicht zu haben, was man bei dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaften überhaupt von solchen Apparaten erwarten kann.

Das Princip dieser Maschine besteht wesentlich darin,

dafs die Pole hufeisenförmiger Elektromagnete sich tangential und sehr nahe vor den Polen feststehender Elektromagnete vorbeibewegen und so eine continuirliche Rotation veranlassen. Die Hauptsache aber ist, dafs die Erregung der beweglichen wie der festen Theile durch den Strom nur während einer kurzen Strecke ihrer Bahn erfolgt und nur so lange andauert, als sich die beweglichen und festen Theile in der für ihre gegenseitige Anziehung günstigsten Lage befinden; der Strom der Batterie wird dann aber nicht unterbrochen, sondern geht unmittelbar von dem einen dieser Systeme in ein zweites ähnliches über, welches sich nun in der entsprechenden Stellung befindet; von diesem in ein drittes u. s. f., bis dann wieder die zuerst erregten Elektromagnete in ihre ursprüngliche Stellung gelangen. Es wirkt nur die anziehende Kraft der ungleichnamigen Pole; die abstofsende Kraft der gleichnamigen ist gänzlich ausgeschlossen. Durch diese Vorkehrung wird der grofsen Verschwendung von Stromkraft vorgebeugt, welche stattfindet, wenn wie bei den gebräuchlichen Maschinen die Magnetisirung schon eintritt, indem die Pole noch zu weit von einander entfernt sind, um irgend eine bemerkbare Wirkung auf einander auszuüben.

Acht cylindrische Stäbe von weichem Eisen, jeder von 2 Zoll Durchmesser und 18 Zoll Länge sind so auf der Mantelfläche eines 8 Zoll im Durchmesser haltenden Cylinders angeordnet und befestigt, dafs ihre sämmtlichen Axen mit einander und mit der Axe des Cylinders parallel laufen, und dafs zwischen je zweien derselben ein Zwischenraum bleibt, der ungefähr dem Durchmesser eines Stabes selbst gleichkommt. Jeder dieser Eisenstäbe ist mit 600 Windungen eines 1 Linie starken gut umsponnenen und gefirniften Kupferdrahtes umwunden. An seinen beiden Enden ist jeder dieser Stäbe spitzig zugeschmiedet, so dafs seine beiden Pole nicht Kreisflächen, sondern Parallelogramme bilden, wie Taf. IV. Fig. 8, *a* und *b*, darstellt. Je acht dieser Polflächen liegen in einer vollkommenen Ebene; vor dieser Ebene und vor den acht Polflächen bewegen

sich auf jeder Seite drei bewegliche hufeisenförmige Elektromagnete, davon jeder aus zwei cylindrischen Stäben wie die obigen, nur kürzer, besteht, die durch ein daran geschmiedetes Quereisen mit einander verbunden sind. Jeder dieser beweglichen Elektromagnete hat ebenso geformte Polflächen wie die festen Stäbe. Die drei hufeisenförmigen Elektromagnete an jeder Seite der unbeweglichen Stäbe sind auf einer 1 Zoll starken und $5\frac{1}{2}$ Fufs langen stählernen Axe so festgeschraubt, daß ihre Pole in einer Ebene liegen, die mit der Ebene, welche die Pole der acht festen Elektromagnete bilden, genau parallel ist und nur etwa ein Millimeter von der letzteren Ebene absteht. Daß dieser Abstand während der Bewegung der Maschine immer derselbe bleibt und daß die Polflächen der beweglichen und der festen Elektromagnete, trotz der großen Kraft, mit welcher sie sich gegenseitig anziehen, nie miteinander in Berührung kommen, wird durch die feste Lage der Axe der Maschine in ihren Lagern bewirkt, so daß eine noch so kleine Bewegung derselben im Sinne ihrer Länge unmöglich gemacht ist. Die sechs Pole der rotirenden Elektromagnete auf jeder Seite der Maschine liegen nicht nur in einer Ebene, sondern befinden sich auch in genau gleichem Abstände von einander, ebenso wie dies mit je acht Polflächen der festen Stäbe der Fall ist. Da die Hufeisen eins hinter oder über dem anderen auf der Axe unverrückbar befestigt sind, so haben ihre Schenkel nicht alle dieselbe Länge; da sonst ihre Polflächen nicht sämtlich in einer Ebene zu liegen kämen. Die Anordnung der Polflächen der festen und rotirenden Elektromagnete ist aus Fig. 9, Taf. IV. ersichtlich; die letzteren sind durch punktirte Linien und römische Ziffern bezeichnet. Man sieht aus diesem Schema, daß bei der darin dargestellten Lage der Magnetpole gerade zwischen den Flächen der feststehenden Elektromagnete 1 und 5 und den Polen des beweglichen Elektromagnets I die größte Anziehung in diesem Augenblicke stattfinden muß. Der Strom der Batterie theilt sich daher mittelst der später zu

beschreibenden Commutatoren und geht in 1, 5 und in I, so wie in das den Polflächen I auf der anderen Seite der Maschine entsprechende Hufeisen, in der Art, daß die einander genäherten Polflächen I und 1, sowie I und 5 entgegengesetzte Polarität erlangen, sich also anziehen. Ist nun Bewegung im Sinne des Pfeils eingetreten, und hat die Maschine einen Winkel von 15° oder $\frac{1}{4}$ Umdrehung gemacht, so stehen die Polflächen 1 und 8 den Polflächen I beinahe gegenüber, so daß die tangentielle Componente ihrer gegenseitigen Anziehung schon gering wird. Nach jener $\frac{1}{4}$ Umdrehung befinden sich aber die feststehenden Pole 2 und 6 und die beweglichen Polflächen II ganz in derselben gegenseitigen Stellung, welche vorher 1, 5 und I hatten; nach einer weiteren $\frac{1}{4}$ Drehung ist dasselbe mit den Polflächen 3, 7 und III der Fall; der Strom der Batterie muß daher, um die Maschine in Bewegung zu erhalten, nach jeder $\frac{1}{4}$ Umdrehung in ein anderes System fester und beweglicher Elektromagnete übergehen. Es werden von den acht festen Stäben immer nur zwei und zwar die beiden einander diametral gegenüberstehenden elektromagnetisirt, die übrigen sechs ruhen so lange; von den beweglichen 3 Hufeisen, die sich auf jeder Seite der Maschine befinden, wird immer nur eins zu einem Magneten gemacht; hierdurch ist fortwährend ein Kreis von einander mit den ungleichnamigen Polen zugekehrten magnetischen Stäben gebildet. Daß der Stromwechsel immer bei $\frac{1}{4}$ Umdrehung stattfinden, daß also auch der Commutator 24 verschiedene Verbindungsweisen der Drähte bewerkstelligen muß, dies liegt in der Anzahl der festen Stäbe und der Anzahl der beweglichen Pole, indem in der genannten Weise 24 Combinationen der verschiedenen Polflächen möglich sind. Bei einer kleineren Maschine habe ich 10 feste Stäbe und auf jeder Seite 4 bewegliche Hufeisen angewandt. Hier sind 40 verschiedene Combinationen der Polflächen möglich, der Commutator ist daher auch für 40 Stromabwechselungen eingerichtet. Ich habe jedoch gefunden, daß, namentlich für größere Maschinen, ein Sy-

stem von 8 feststehenden Elektromagneten und 3 beweglichen Hufeisen auf jeder Seite der Maschine das Passendste ist.

Es sind zwei Commutatoren vorhanden; der eine für die feststehenden Stäbe, der andere für die rotirenden; so daß man den Strom auch nur durch die feststehenden Theile leiten kann, während die Hufeisen nicht magnetisirt werden oder ihren Magnetismus nur durch Vertheilung von den festen Polflächen erhalten; die Maschine geht dann ebenfalls, obwohl nur mit halber Kraft. Jeder Commutator besteht aus einer 1 Zoll dicken, und 6 Zoll im Durchmesser haltenden Mahagonischeibe, deren eine Fläche $1\frac{1}{2}$ Zoll breit vom Rande aus mit 24 Stücken Neusilberblech belegt ist, sämmtlich von gleicher Größe, so daß sie den ganzen Umkreis ausfüllen, ohne sich jedoch untereinander zu berühren, indem ein feiner Zwischenraum zwischen je zwei benachbarten Feldern bleibt, der mit Schellack ausgefüllt ist. An jedes dieser Bleche ist seitwärts eine Drahtklemme angelöthet, um die einzelnen Felder untereinander und mit den Drahtenden der Spiralen, welche die Elektromagnete umgeben, zu verbinden. Die Commutatorscheibe für die festen Elektromagnete befindet sich auf einer Seite der Maschine zwischen dem Axenlager und dem letzten Hufeisen und ist auf einem Stativ befestigt. Die Scheibe hat in der Mitte ein Loch, um die Axe frei durchgehen zu lassen; die Ebene der Scheibe steht genau senkrecht auf der Axe der Maschine; die Scheibe ist jedoch so auf dem Stativ befestigt, daß sie mittelst einer Handhabe in ihrer Ebene gedreht werden kann.

Aus der oben beschriebenen Anordnung der Maschine ist ersichtlich, daß, da immer die beiden einander diametral gegenüberstehenden festen Stäbe allein magnetisirt werden, dann die beiden zunächst stehenden u. s. f., nach 4 Stromabwechslungen immer wieder dieselben Stäbe magnetisirt werden müssen, und also nach jeder $\frac{1}{2}$ Umdrehung der Maschine die Reihenfolge der Magnetisirungen, was die festen Stäbe allein betrifft, sich in derselben Weise wie-

derholt. Wenn also jedes Feld des Commutators durch Drähte mit dem nächsten fünften Felde und mit dem einen Drahtende des entsprechenden Magnetstabes verbunden ist, so wird eine auf die Commutatorscheibe schleifende Metallfeder den Strom den betreffenden Umwindungen immer in der erforderlichen Reihelfolge zuleiten. Denken wir uns die 24 Felder des Commutators numerirt von 1 bis 24, so werden immer die Felder 1, 5, 9, 13, 17, 21 untereinander und mit den ungleichnamigen Drahtenden der Umwindungen der Stäbe 1 und 5, ebenso die Commutatorfelder 2, 6, 10, 14, 18, 22 untereinander und mit den Drahtenden der Stäbe 2 und 6, ferner die Felder 3, 7, 11, 15, 19, 23 untereinander und mit den ungleichnamigen Drahtenden von 3 und 7, endlich noch die Felder 4, 8, 12, 16, 20, 24 miteinander und mit den Drahtenden der Stäbe 4 und 8 verknüpft; diese Drahtverbindung geschieht mittelst in die an jedem Felde befindliche Drahtklemme eingeschraubter Kupferdrähte. Die Drahtenden je zwei einander diametral gegenüberstehender Stäbe, welche mit derselben Klasse von Commutatorfeldern verbunden werden, müssen immer ungleichnamig seyn, damit die beiden einander gegenüberstehenden Polflächen, wie z. B. 1 und 5 zu derselben Zeit entgegengesetzte magnetische Polarität erhalten, da sie beide auf die Pole ein und desselben Hufeisens I wirken; ferner sind auch die Drahtenden zweier *nebeneinander* liegender Eisenstäbe, wie 1 und 2, welche zum Commutator gehen, so gewählt, daß sie ebenfalls ungleichnamig sind, d. h. wenn z. B. das von 1 zum Commutator gehende Drahtende das rechtsgewundene Ende der Spirale ist, so sind entsprechenden Drahtenden der Stäbe 2 und 8 die linksgewundenen Enden der Umwindungen dieser Stäbe. Diese letzte Bedingung ist gleichgültig, so lange nur die feststehenden Elektromagnete allein erregt werden; sie wird aber nothwendig, wenn zugleich die Magnetisirung der Hufeisen durch den Strom erfolgt, damit alsdann die einander sich nähernden Polflächen der festen und beweglichen Theile immer entgegengesetzte Polarität annehmen.

Die Enden der Umwindung der feststehenden Elektromagnete, welche *nicht* zu dem Commutator gehen, sind sämtlich mit einander und mit einem Pole der Batterie fest verbunden; von dem anderen Pole geht eine Drahtleitung in das Axenlager und so in die Axe der Maschine selbst. Auf dieser Axe ist unmittelbar vor der Commutatorscheibe ein metallner Federhalter festgeschraubt; von diesem aus leitet eine starke silberne Feder den Strom in die Felder des Commutators und bringt so mit der Drehung der Axe selbst den successiven Stromwechsel hervor. Die Feder drückt fest gegen das Metall des Commutators, so daß die Leitung zwischen den trocknen Metallen immer vollkommen und ohne Unterbrechung geschieht, ohne Anwendung von Oel oder Amalgam. Es ist hier zugleich die im 87. Bande d. Ann. S. 523 beschriebene Vorrichtung angebracht, mittelst welcher der Unterbrechungsfunke, welcher sonst bei jeder Umdrehung der Maschine 24 mal auftreten würde, fast vollständig vermieden ist, und zugleich nach jeder Stromunterbrechung der Endgegenstrom hervorgehoben wird, welcher die Kraft der Maschine verstärkt und eine große Gleichmäßigkeit in ihrer Bewegung hervorbringt; auf diese Weise ist das Metall des Commutators vor jeder Verbrennung durch den Unterbrechungsfunken gesichert.

Die Commutatorscheibe für die beweglichen Elektromagnete ist im Wesentlichen der eben beschriebenen gleich; sie befindet sich an dem andern Ende der Maschine zwischen dem Axenlager und den Hufeisen; diese ist jedoch auf der Axe der Maschine selbst unbeweglich befestigt und dreht sich mit dieser, wobei sie jedoch immer in derselben Ebene senkrecht auf der Axe bleibt. Es ist diese Bewegung des Commutators mit der Axe nothwendig, weil sonst ja die Drahtenden der sich ebenfalls bewegenden Elektromagnete nicht fest mit den Feldern des Commutators verbunden werden könnten. Die beiden Federn hingegen, welche von den Polen der Batterie den Strom in die Commutatorfelder leiten, sind auf einem feststehenden Stativ

befindlich und können mittelst einer Handhabe in einer Ebene senkrecht auf der Axe der Maschine gedreht werden. ganz wie dies oben mit der Commutatorscheibe selbst der Fall war, während dort die zuleitende Feder auf der Axe befestigt war. Die beiden Federn, welche die Stromschliessung bewirken, schleifen immer auf zwei einander diametral gegenüberstehende Felder des Commutators, welche letztere wiederum mit den Umwindungen der beweglichen Elektromagnete verknüpft sind; sie sind so gestellt, daß beide immer in demselben Zeitpunkte das entsprechende Commutatorfeld verlassen und mit dem nächsten in Berührung kommen, damit durchaus keine Unterbrechung in der Wirkung des Stromes stattfinden kann. Die Verbindungen der 24 Commutatorfelder untereinander und mit den Spiralen der rotirenden Elektromagnete sind jedoch hier weit complicirter als bei dem ersten Commutator. Es ist nämlich klar, daß, da nur drei Hufeisen auf jeder Seite der Maschine vorhanden sind, jedes derselben schon nach der dritten Stromabwechslung wieder erregt wird, daß jedoch derselbe Pol nicht wie bei den feststehenden Eisen immer dieselbe Polarität erhalten darf bei jeder Erregung, sondern daß bei jeder folgenden Erregung entweder dieselbe oder die entgegengesetzte Polarität eintreten muß, je nachdem die unveränderliche Polarität der feststehenden Elektromagnete beschaffen ist. Im Allgemeinen wird jeder der beweglichen Magnetpole während einer Umdrehung der Maschine 8mal erregt, in 4 Erregungen erhält derselbe aber immer die entgegengesetzte Polarität als in den 4 anderen; es müssen daher immer je 4 Felder des Commutators untereinander und mit einem Drahtende der Umwindung eines der beweglichen Elektromagnete verbunden werden, und die Herstellung dieser Verbindungen erfordert große Sorgfalt, damit nie gleichnamig polarisirte Magnetpole einander gegenübertreten. An diesem zweiten Commutator ist ebenfalls die erwähnte Vorrichtung zur Verminderung des Unterbrechungsfunkens angebracht. Sind alle diese Verbindungen der Commutatorfelder unterein-

ander und mit den Polen der Batterie geschehen, so bedarf es nur, um die Maschine in Bewegung zu setzen, einer genauen Einstellung des ersten Commutators und der Federn des zweiten mittelst der Handhaben, damit die Magnetisirung der betreffenden Elektromagnete genau in denjenigen Zeitpunkten erfolgt, in welchen die gegenseitige Entfernung ihrer Pole ihrer Anziehung günstig ist. Die folgenden Stromunterbrechungen werden dann sämmtlich durch den Mechanismus der Maschine selbst auf das Pünktlichste besorgt. Eine geringe Drehung des ersten Commutators und der Federn des zweiten in ihrer Ebene mittelst der Handhaben gestattet es, den Gang der Maschine schneller oder langsamer zu machen, indem dadurch die Erregung der betreffenden Polflächen in Zeitpunkten eintritt, in welchen ihre gegenseitige Lage für ihre Anziehung mehr oder wenig günstig ist; durch eine noch gröfsere Verstellung beider um einen gewissen Winkel hat man es in der Gewalt *während der Bewegung der Maschine* und ohne Unterbrechung des Stromes den Gang derselben plötzlich rückläufig zu machen, indem alsdann die Stromabwechslungen in ihrem Verhalten zu der gleichzeitigen Stellung der erregten Magnetpole sämmtlich genau in der umgekehrten Ordnung erfolgen wie vorher.

Damit die Wirkung der Maschine regelmäfsig und möglichst kräftig sey, müssen die Polflächen der festen und beweglichen Elektromagnete genau in derselben, miteinander vollkommen parallelen und auf der Axe der Maschine senkrechten Ebenen liegen; ferner mufs die Vertheilung dieser Polflächen in den genannten Ebenen eine durchaus regelmäfsige und aequidistante seyn, so dafs die Verbindungslinie zweier einander diametral gegenüberstehenden Polflächen immer durch die Mitte der Axe der Maschine geht. Ueberhaupt aber mufs in der Ausführung und Befestigung aller Theile die gröfste Symmetrie herrschen; wenn eine der genannten Bedingungen fehlt, erleidet die Wirkung der Maschine eine bedeutende Verminderung.

Die beschriebene Maschine habe ich schon seit zwei Jah-

Jahren im Gebrauche; sie bewegt sich selbst bei sehr langsamem Gange, so daß eine Umdrehung in 5 bis 6 Sekunden geschieht, mit vollkommener Gleichmäßigkeit, indem es keine sogenannten toten Punkte in derselben giebt. Zu dieser Regelmäßigkeit der Bewegung trägt namentlich das Auftreten der durch die eigenthümliche Art der Stromunterbrechung hervorgerufenen Endgegenströme in den Spiralen bei, indem man nur selten einen Unterbrechungsfunken an den Commutatoren bemerkt.

Die ganze Maschine wiegt nahe an 200 Pfund; der rotirende Theil derselben mit der Axe wiegt 60 Pfund und macht bei Anwendung eines einzelnen Zink-Eisen Elementes mit $\frac{1}{2}$ Quadratfuß Zinkoberfläche gegen 40 Umdrehungen in der Minute. Bei einer mittleren Umdrehungsgeschwindigkeit wie diese wird ungefähr $\frac{1}{3}$ der ganzen Kraft, welche durch die chemische Action der Batterie frei wird, in mechanische Arbeit verwandelt, wenn man die chemische Kraft aus der Wärmewirkung, auf mechanische Einheiten reducirt, berechnet, welche die während der Bewegung consumirte Zinkmenge entwickeln würde, indem sie allein zur Erwärmung der Schließung in einer Salpetersäurebatterie verwandt wurde; die übrigen $\frac{2}{3}$ gehen bei der Bewegung der Maschine durch die Erwärmung der Schließungsdrähte verloren.

Dresden im Februar 1854.

IV. *Ueber die Cauchy'schen Näherungsformeln für Metallreflexion; von Beer in Bonn.*

Die Andeutungen, welche Cauchy über die Begründung seiner auf die Metallreflexion bezüglichen Formeln gegeben hat, sind äußerst spärlich. Es erscheint deshalb misslich, ohne auf die allgemeine Mechanik der Aetherbewe-

gung einzugehen, den Hergang bei jener Reflexion für sich in ähnlicher Weise verfolgen zu wollen, wie wir es in unseren früheren Mittheilungen für den Fall durchsichtiger Mittel gethan haben. Gleichwohl können wir es uns nicht versagen, das Folgende mitzuthellen, in dem wir eine Bewegung des Aethers angeben, welche, derjenigen bei durchsichtigen Mitteln analog, den allgemeinen Bedingungen genügt und zu den Cauchy'schen Näherungsformeln für die Intensitätsverhältnisse führt. Wir hoffen damit Manchem, dem die Erwartung der so lange schon versprochenen Cauchy'schen Moleculartheorie, wie es bei uns der Fall ist, schwer fällt, ein Genüge zu thun und vielleicht auch eine mehrseitigere Behandlung des Gegenstandes zu veranlassen.

1) Indem wir die früher schon gebrauchte Bezeichnungsweise beibehalten, schreiben wir für die Gleichungen des einfallenden und gespiegelten Strahles *bei senkrecht zur Einfallsebene polarisirtem Lichte*:

$$\varrho_i = a_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + J_i \right], \quad \varrho_r = a_r \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_r) + L_r \right].$$

Wenn nun — und in diesem Falle gelten eben die Näherungsformeln, wie Cauchy bemerkt, — die Absorption und Geschwindigkeit des gebrochenen Strahles als constant, d. h. von der Incidenz unabhängig, angesehen werden kann, so dürften wohl folgende Gleichungen für den erwähnten Strahl anzunehmen seyn:

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi_r = x_r \cdot e^{\frac{d}{\cos r}} \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda'} (\nu' t - E_r) + X \right] \\ \zeta_r = y_r \cdot e^{\frac{d}{\cos r}} \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda'} (\nu' t - E_r) + Z \right] \end{array} \right\}$$

Hiernach beschreiben die Aethertheilchen im gebrochenen Lichte im Allgemeinen ähnliche und ähnlich gelegene Ellipsen, deren Ebenen auf der Wellenebene und der brechenden Fläche senkrecht stehen. Es ist nicht überflüssig zu bemerken, daß die im Folgenden angedeutete Rechnung nur eine geringe Modification in dem Falle erheischen

würde, wo der Divisor des Extinctionscoefficienten d die Einheit ist, und dennoch zu den verlangten Formeln führen würde.

Außer den bereits erwähnten drei Strahlen bringen wir noch zwei verschwindende Strahlen ins Spiel, gerade wie bei der Reflexion an durchsichtigen Mitteln. Die Gleichungen dieser, so zu sagen Hilfsstrahlen seyen:

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi = x e^{-\alpha} \cos \frac{2\pi}{l} (vt - x \sin i) \\ \zeta = y e^{-\alpha} \sin \frac{2\pi}{l} (vt - x \sin i) \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi' = x' e^{-\alpha'} \cos \frac{2\pi}{l'} (v't - x' \sin i') \\ \zeta' = y' e^{-\alpha'} \sin \frac{2\pi}{l'} (v't - x' \sin i') \end{array} \right\}$$

Wir bemerken, daß wir hier die Phasen dieser beiden Strahlen gleich setzen; diese Annahme wird, weil wir keine Unterstellung über die Extinctionscoefficienten machen, durch die Rechnung nicht widerlegt. Würden uns aber jene bekannt, so dürften möglicherweise, um einen Widerspruch zu vermeiden, die Phasen von drei der aufgeführten Componenten als von Null verschieden anzunehmen seyn. Wir unterlassen dies auf Kosten der Allgemeinheit, um wenigstens einen einfachen Fall der Bewegung zu erhalten, welcher sich den Cauchy'schen Formeln anschließt und, sobald etwas Näheres über die Extinctionscoefficienten bekannt geworden, jedenfalls nur eine geringe Modification verlangt, um auch den von Neuem beibrachten Bedingungen zu genügen.

Bilden wir nun unter Zugrundelegung der aufgeführten Gleichungen die allgemeinen Bedingungsgleichungen für die Trennungsfläche, und setzen wir hierauf, unter γ die Größe $\frac{\lambda}{2\pi} \cdot d$ verstanden, folgende Relationen fest:

$$\left\{ \begin{array}{l} x \sin X = \frac{\gamma}{n} \frac{1 - \cos i^2 \cos r}{\cos r^2} \cdot a, \\ x \cos X = a, \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} y \sin Z = -\gamma \sin i \cdot a, \\ y \cos Z = \frac{\gamma^2 + \cos r}{\cos r^2} \sin r \cdot a, \end{array} \right\}$$

$$i' - i = -\frac{\gamma}{n} \frac{1 - \cos i^2 \cos r}{\cos r^2} \cdot a,$$

$$(c'i' + ci) = \left[\frac{2\pi}{i'} (\cos i^2 - \cos r) - \frac{d}{\cos r} \cdot \frac{\gamma}{n} \frac{1 - \cos i^2 \cos r}{\cos r^2} \right] a,$$

$$i' - i = (n \sin i - \frac{\gamma^2 + \cos r}{\cos r^2} \sin r) a,$$

$$(c'i' + ci) = -d \left[n \sin i \cos r + \frac{1}{\cos r} \cdot \frac{\gamma^2 + \cos r}{\cos r^2} \sin r \right] a.$$

Diesen Relationen zufolge gewinnt man:

$$1) \ u_i + u_i = 0, \quad 2) \ u_i - u_i = -\gamma \cdot a,$$

$$3) \ v_i + v_i = \frac{1}{\cos i} \cdot a, \quad 4) \ v_i - v_i = n \cdot a,$$

und letztere Gleichungen liefern:

$$4(u_i^2 + v_i^2) = 4a_i^2 = \left[\left(\frac{1}{\cos i} + n \right)^2 + \gamma^2 \right] a^2,$$

$$4(u_i^2 + v_i^2) = 4a_i^2 = \left[\left(\frac{1}{\cos i} - n \right)^2 + \gamma^2 \right] a^2.$$

Aus dem Werthe von a , in a_i , $\cos i$, n und γ ausgedrückt, bestimmten sich zunächst die Attribute des gebrochenen Strahles. Ferner aber erhalten wir noch:

$$\frac{a_i^2}{a^2} = \frac{\left(\frac{1}{\cos i} - n \right)^2 + \gamma^2}{\left(\frac{1}{\cos i} + n \right)^2 + \gamma^2}$$

$$\frac{u_i}{v_i} = \tan J_i = -\frac{\gamma}{\frac{1}{\cos i} + n}, \quad \frac{u_i}{v_i} = \tan L_i = \frac{\gamma}{\frac{1}{\cos i} - n}$$

Hieraus folgt für den Phasenunterschied δ , des einfallenden und des gespiegelten Strahles:

$$\tan \delta_i = \tan (L_i - J_i) = -\frac{2\gamma \cos i}{(n^2 + \gamma^2) \cos i^2 - 1}.$$

Setzen wir mit Cauchy $n = \theta \cos \varepsilon$, $\gamma = \theta \sin \varepsilon$, so kommt:

$$\frac{a_i^2}{a^2} = \tan \left(\varphi - \frac{\pi}{4} \right), \text{ für } \cotg \varphi = \cos \varepsilon \cdot \sin \left(2 \arctan \frac{1}{\theta \cos i} \right),$$

und dies ist die von Cauchy für unseren Fall aufge-

stellte Formel (*Compt. rend. XXVI*). Wir haben aber ferner auch noch:

$$\operatorname{tang} \delta_1 = - \frac{2\theta \sin \epsilon \cdot \cos i}{\theta^2 \cos i^2 - 1}.$$

2) *Stehen die Oscillationen des einfallenden Strahles auf der Einfallsebene senkrecht*, so sind die Gleichungen der im ersten Mittel auftretenden Strahlen, unter denen sich ein verschwindender Strahl befindet, folgende;

$$\eta_i = b_i \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_i) + J_2 \right], \quad \eta_r = b_r \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_r) + L_2 \right],$$

$$\eta_t = \eta \cdot e^{-\alpha} \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x \sin i) + S \right],$$

und die Gleichungen der Strahlen im opaken Mittel sind:

$$\eta_r = b_r \cdot e^{\frac{d}{\cos r}} \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - E_r)$$

$$\eta_t = \eta' e^{-\alpha'} \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda'} (\nu' t - x \sin i') + S' \right].$$

Bei unserer Annahme über die Natur der hier spielenden Strahlen, erweist es sich als nothwendig, die Phasen der verschwindenden Strahlen von der des gebrochenen verschieden zu unterstellen. Ferner müssen folgende Beziehungen angenommen werden;

$$\eta' \cos S' - \eta \cos S = 0, \quad - \frac{d b_r}{\cos r} + (c' \eta' \sin S' + c \eta \sin S) = -d \cdot b_r,$$

$$b_r - (\eta' \sin S' - \eta \sin S) = b_r,$$

$$\frac{2\pi}{\lambda'} \cos r b_r + (c' \eta' \cos S' + c \eta \cos S) = \frac{2\pi}{\lambda} b_r.$$

Hiernach findet man aus den Bedingungsgleichungen für die Trennungsfläche:

$$1) \ u_i + u_r = 0, \quad 2) \ u_i - u_r = - \frac{d}{\mu} \cdot b_r,$$

$$3) \ v_i + v_r = b_r, \quad 4) \ v_i - v_r = \frac{2\pi}{\lambda'} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot b_r,$$

und hieraus berechnet sich:

$$4(u_i^2 + v_i^2) = 4b_i^2 = \frac{1}{\cos i^2} [(n + \cos i)^2 + \gamma^2] b_r^2,$$

$$4(u_r^2 + v_r^2) = 4b_r^2 = \frac{1}{\cos i^2} [(n - \cos i)^2 + \gamma^2] b_r^2.$$

Wir haben somit:

$$\frac{b_i^2}{b_r^2} = \frac{(n - \cos i)^2 + \gamma^2}{(n + \cos i)^2 + \gamma^2},$$

und für die Phasen des einfallenden und gespiegelten Strahles kommt:

$$\frac{u_i}{v_i} = \tan J_2 = -\frac{\gamma}{\cos i + n}, \quad \frac{u_r}{v_r} = \tan L_2 = \frac{\gamma}{\cos i - n}.$$

Der Phasenunterschied δ_2 der beiden Strahlen bestimmt sich also durch die Formel:

$$\tan \delta_2 = \tan(L_2 - J_2) = \frac{2\gamma \cos i}{\cos i^2 - (n^2 + \gamma^2)}.$$

Geben wir den obigen Formeln eine trigonometrische Gestalt, so schreibt sich:

$$\frac{b_i^2}{b_r^2} = \tan\left(X - \frac{\pi}{4}\right), \quad \text{für } \cotg X = \cos \epsilon \sin\left(2 \arctan \frac{\cos i}{\theta}\right),$$

und diefs ist die zweite von Cauchy a. a. O. aufgestellte Formel. Wir finden aber auch noch ferner:

$$\tan \delta_2 = \frac{2\theta \sin \epsilon \cos i}{\cos i^2 - \theta^2}.$$

Durch Verbindung der Formeln für δ_1 und δ_2 ergibt sich der Phasenunterschied A der beiden Componenten des reflectirten Strahles. Die so erhaltene Formel kommt mit derjenigen nicht überein, welche sich aus der allgemeinen Cauchy'schen Formel für jene Differenz ergibt, wenn man die von Cauchy U genannte Gröfse gleich θ setzt, während diefs doch mit den Intensitätsformeln der Fall ist. Gleichwohl dürften sich unsere Formeln, von denen wir nicht wissen, ob sie mit den ursprünglichen Näherungsformeln Cauchy's zusammenfallen, in demselben Grade wie die Intensitätsformeln der Natur anschließen. Dafs diefs wirklich bei der Hauptincidenz eintritt, ersieht man sowohl aus den folgenden Bemerkungen, als auch daraus, dafs, wie wir gefunden haben, unsere Formeln nach Substitution der von Cauchy angegebenen Indices und Werthe von γ wirklich nahezu die von Brewster beobachteten Hauptincidenzen liefern, aus denen u. A. eben Cauchy jene Gröfsen berechnet hat.

Bezeichnet man den Werth von $\frac{a_i}{b_i}$ für $a_i = b_i$ und bei der Hauptincidenz J durch $\tan A$ (da dann A das von Cauchy sogenannte *azimut principale de réflexion* ist), so hat man:

$$\frac{a_i^2}{b_i^2} = \tan A^2 = \frac{\tan\left(\varphi - \frac{\pi}{4}\right)}{\tan\left(X - \frac{\pi}{4}\right)} = \frac{1 - \cotg \varphi}{1 + \cotg \varphi} \cdot \frac{1 + \cotg X}{1 - \cotg X}.$$

Also ist:

$$\cos 2A = \frac{1 - \tan A^2}{1 + \tan A^2} = \frac{\cotg \varphi - \cotg X}{1 - \cotg \varphi \cotg X}, \quad \text{oder:}$$

$$1) \quad \cos 2A = \frac{2\theta \cos \varepsilon \cdot \sin J^2 \cdot \cos J(\theta^2 - 1)}{(\theta^2 \cos J^2 + 1)(\theta^2 + \cos J^2) - 4\theta^2 \cos^2 \varepsilon \cdot \cos J^2} = \frac{L}{N}.$$

Andererseits ist für die Hauptincidenz $A = \frac{\pi}{2}$, also:

$$2) \quad (\theta^2 \cos J^2 - 1)(\cos J^2 - \theta^2) - 4\theta^2 \sin^2 \varepsilon \cos J^2 = 0.$$

Durch Addition der Gleichungen 1) und 2) findet man nun:

$$\theta \cos \varepsilon = \frac{\theta^2}{\theta^2 - 1} \cdot \frac{\sin J^2}{\cos J} \cdot \cos 2A,$$

wofür man, da $\frac{1}{\theta}$ nur klein ist, bei den bis jetzt untersuchten Metallen annähernd setzen kann:

$$\theta \cos \varepsilon = \frac{\sin J^2}{\cos J} \cdot \cos 2A.$$

Ferner liefert die Subtraction der Gleichungen 1) und 2)

$$\frac{M}{\cos 2A} = 2\theta^4 \cos J^2 + 2\cos J^2 + 4\theta^2 \sin^2 \varepsilon \cos J^2 - 4\theta^2 \cos^2 \varepsilon \cos J^2.$$

Da nun, wie schon bemerkt, θ groß ist, und auch J meist ein großer Winkel ist, so darf man in erster Annäherung die drei letzten Glieder gegen die anderen vernachlässigen, da man dann mit Bezug auf den gefundenen Werth von $\cos 2A$ erhält:

$$I) \quad \theta = \frac{\sin J^2}{\cos J}.$$

Mit Rücksicht auf diese Beziehung schreibt sich die drittletzte Gleichung auch so:

$$II) \quad \cos \varepsilon = \cos 2A.$$

Der Gleichungen I und II kann man sich, wie dies Cauchy zuerst und hierauf Jamin gethan haben, bedienen, um die beiden Constanten n und γ aus der Beobachtung der Hauptincidenz und des Azimutes der durch zweifache Reflexion unter der Hauptincidenz wiederhergestellten geradlinigen Polarisation abzuleiten. Zwischen dem letzteren Azimute φ und dem *azimut principale* besteht nämlich, wie leicht einzusehen, die Beziehung:

$$\text{tang } \varphi = \text{tang } A^2.$$

V. Ueber die Einwirkung des Kochsalzes bei der Bildung der Mineralien; von J. G. Forchhammer.

Erste Abtheilung.

Vom Apatit und einigen andern phosphorsauren Salzen.

Es finden sich viele Mineralien in der Natur, von denen die mehrsten Mineralogen, Geognosten und Chemiker annehmen, daß sie nur auf plutonischem Wege gebildet werden können, das heißt, durch Krystallisiren aus einer, vermittelt Hitze, flüssigen Masse. Indessen ist ein nicht unbedeutender Theil dieser Mineralien unschmelzbar, oder erfordert wenigstens einen Wärmegrad, der höher ist, als der, welcher, alle übrigen Umstände gehörig beachtet, vermuthlich bei der Bildung der Gebirgsmassen, worin sie vorkommen, stattgefunden hat. Einige dieser Verbindungen bilden sich verhältnismäßig leicht, und so hat schon Mitscherlich vor mehr als 30 Jahren gezeigt, daß man eins der am meisten verbreiteten Mineralien bilden kann, wenn man Kieselerde und verschiedene Basen der Talk-Magnesiareihe in einem Verhältnisse zusammenschmilzt, wo-

rin der Sauerstoff der Säure doppelt so groß ist als der der Basen, indem Er gleichfalls zeigte, daß dieselbe Verbindung in derselben Form sich in den Schlacken verschiedener Hochöfen findet. Seit der Zeit haben Schlackenuntersuchungen ein großes Interesse für die Mineralogen und Geognosten gewonnen, und nicht wenige Mineralien, die man längst aus ihrem Vorkommen in der Natur kannte, sind später als Schmelzproducte in den Schlacken der Hochöfen entdeckt.

Inzwischen fehlt eine sehr große Anzahl von Mineralien, deren Ursprung durch Einwirkung großer Hitze höchst wahrscheinlich ist, unter den Producten der Schmelzöfen, und es war ein fruchtbarer und glücklicher Gedanke, den Ebelmen mit großer Ausdauer verfolgt hat, Substanzen in einem Stoffe aufzulösen, der sich bei großer Hitze verflüchtigt. Die Borsäure spielt bei diesen Ebelmen'schen Versuchen gewissermaßen dieselbe Rolle bei einer hohen Temperatur, wie das Wasser bei niedrigen Wärmegraden, und so wie dieses durch langsame Verdampfung einer Auflösung von Kochsalz, dasselbe in schönen, wasserfreien Krystallen hinterläßt, giebt die Borsäure bei hohen Temperaturen Krystalle, in deren Zusammensetzung das Auflösungsmittel nicht eingeht. Käme es blos darauf an die Verbindungen in deutlichen und meßbaren Krystallen darzustellen und dadurch unsere Kenntnisse der Natur dieser Stoffe wesentlich zu erweitern, so würde diese Methode, in den Fällen, wo sie angewandt werden kann, vollkommen befriedigend seyn. Allein, obgleich die Borsäure in späterer Zeit an vielen Orten und in vielen Verbindungen entdeckt worden ist, wo man früher nicht daran dachte, sie zu suchen, findet man sie doch so selten in der Natur, daß man ihr kaum einen großen Einfluß auf die Bildung solcher Mineralien zuschreiben kann, die allgemeiner verbreitet sind und eine größere Rolle in der Entwicklung der Erdkruste spielen.

Ich habe versucht Krystalle zu bilden durch Schmelzung der verschiedenen Verbindungen mit neutralen Stoff-

fen, welche letztere ich später, theils durch Verdampfung, theils durch Auflösung in Wasser wegschaffe. Meine ersten Versuche in dieser Richtung hatten die Aufgabe Apatit zu bilden, ein Mineral, welches wie bekannt sehr häufig in der Natur vorkommt und dessen Bildung bis jetzt kaum recht erklärt sein möchte, insofern als die Danbré'sche Beobachtung über die künstliche Bildung von Apatitkristallen schwerlich ihre Anwendung auf das Vorkommen derselben in der Natur finden kann.

Diese meine Arbeit über den Apatit schloß sich unmittelbar an Untersuchungen über die Zusammensetzung des Seewassers, in welchem ich stets eine geringe Menge phosphorsauren Kalk entdeckte, welcher im Gange der Analyse immer in Verbindung mit einer noch geringeren Menge Fluorcalcium ausgeschieden wurde ¹⁾. Meine fortgesetzten Arbeiten führten mich zur Untersuchung der Schalen von Seethieren und der Kalkstöcke von Korallen, in welchen ich von viel größere Mengen phosphorsaurem Kalk und Fluorcalcium fand, welche auch schon von Dana nachgewiesen sind. Der Gedanke, daß sich Apatit aus dem im Meerwasser aufgelösten phosphorsauren Kalk in Verbindung mit den gleichfalls vorhandenen Zusammensetzungen von Fluor und Chlor mit Calcium bilden könnte, lag nun sehr nahe. Inzwischen waren alle Versuche, welche ich anstellte, um auf nassem Wege eine chemische, in Wasser unauflösliche Verbindung von phosphorsaurem Kalk

1) Als ich in der Versammlung der englischen Naturforscher zu Birmingham im Jahre 1849 diese Entdeckung des Fluorcalciums im Seewasser mittheilen wollte, wurde ich überrascht durch eine Notiz, welche der Dr. Percy im Namen des Dr. G. Wilson mittheilte und woraus hervorging, daß er, gänzlich unabhängig von meinen Untersuchungen, dieselbe Beobachtung gemacht hatte. Dr. Wilson hatte das Fluor in dem Pfannenstein entdeckt, welcher sich in den Kesseln der transatlantischen Dampfschiffe absetzt; ich hatte es in dem Niederschlage gefunden, welchen das Ammoniak im Seewasser hervorbringt, nachdem man Salmiak hinzugefügt hat. Dieser Niederschlag besteht aus kohlensaurem, kiesel-saurem und phosphorsaurem Kalk, Fluorcalcium und den Oxyden des Eisens und Mangans.

und Chlorcalcium zuwege zu bringen, gänzlich vergeblich. Ich löste phosphorsauren Kalk in kohlen saurem Wasser auf, fügte etwas Chlorcalcium hinzu und liefs es langsam verdampfen, aber das ausgeschiedene Pulver enthielt kein Chlor.

Wenn man indessen die Verhältnisse betrachtet, worunter der Apatit in der Natur vorkommt, ist es kaum anzunehmen, dafs er aus wässerigen Auflösungen auskrystallisirt seyn sollte, denn theils findet er sich in vulkanischen oder überhaupt plutonischen Bildungen, wie Lava, Dolerit, Granit, theils in metamorphosirten Kalklagern, wie in den Magneteisenstein führenden Lagern von Norwegen, Schweden und Nordamerika, theils in metamorphischen Schiefer, wie Gneus, Glimmer-, Chlorit- und Talkschiefer.

Es scheint also selbst nach den geognostischen Verhältnissen, als ob diese Verbindung sich wenigstens vorzugsweise unter der Mitwirkung der Wärme bilde. Der Gedanke lag nicht fern, dafs das Kochsalz bei einer solchen Erbitzung und Schmelzung eine Rolle spielen könnte, und um dieses näher zu untersuchen, schmolz ich gewöhnlichen phosphorsauren Kalk mit Chlornatrium zusammen. Die Masse zeigte, nachdem sie langsam abgekühlt war, eine Menge von Höhlungen, in welchen sich eine grofse Menge langer, säulenförmiger Krystalle fand. Nachdem die so gewonnene Masse mit Wasser ausgewaschen und darauf mit Essigsäure ausgezogen war, zeigte sie folgende Zusammensetzung:

Salzsäure	5,61
Kalk	5,80
phosphorsaurer Kalk	88,07

Eisenoxyd, eine kleine, ungewogene Menge.

Die Analyse wurde auf folgende Weise ausgeführt: Die geschmolzene Masse wurde mit kochendem Wasser ausgewaschen, auf ein Filtrum gebracht und von Neuem ausgewaschen. Das Pulver wurde vom Filtrum gespült, mit vielem Wasser angerührt und abermals ausgewaschen, um jede Spur von Salzsäure zu entfernen. Es wurde darauf

mit Essigsäure digerirt und wieder ausgewaschen. Das Pulver wurde nun in Salpetersäure aufgelöst, wobei etwas Eisenoxyd, welches ich aus Gründen, die ich später anführen werde, hinzugefügt hatte, zurück blieb. Die Auflösung wurde dann durch salpetersaures Silberoxyd gefällt und nachdem das Silber wieder durch Salzsäure ausgeschieden war, der phosphorsaure Kalk durch Ammoniak niedergeschlagen. Zuletzt fällte ich den, in der Auflösung befindlichen Kalk durch Oxalsäure und wog ihn als schwefelsauren Kalk.

Nach Rammelsberg's Berechnung enthält der Chlorapatit:

Salzsäure	5,21
Kalk - und Phosphorsäure	94,79

während ich 5,61 Salzsäure und 93,87 Kalk und Phosphorsäure gefunden habe. Die analysirte Verbindung hat also die Zusammensetzung des Apatits.

Man kann diese künstlichen Apatite außerordentlich leicht bilden, indem man weißgebrannte Knochen mit Kochsalz zusammenschmilzt. Es bilden sich dieselben langen, nadelförmigen Krystalle in den Höhlungen des Kochsalzes, und sie haben eine noch größere Aehnlichkeit mit den in der Natur vorkommenden Apatiten, indem sie sowohl Chlor- als Fluorcalcium enthalten. In einer solchen Verbindung fand ich 3,27 Proc. Chlor = 3,36 Salzsäure; sie besteht also ungefähr aus $\frac{2}{3}$ Chlor- und $\frac{1}{3}$ Fluorapatit, enthält nämlich 61,49 Proc. Chlorapatit.

Da die größte Menge Kochsalz, die ich in diesen Experimenten angewandt habe, ein Pfund betrug, die ich mit $\frac{1}{4}$ Pfund phosphorsauren Kalk zusammenschmolz, da man ferner eine verhältnißmäßig schnelle Abkühlung nicht vermeiden kann, ist es begreiflich, daß die Krystalle sich nicht so groß bildeten, daß sie einer Messung unterworfen werden konnten. Unter dem Mikroskope zeigten sie sich als sechsseitige Prismen mit Zuspitzung und cannelirten Prismenflächen, wie beim Beryll. Sie glichen übrigens im

höchsten Grade den nadelförmigen Krystallen des Apatits, die im Gesteine von Capo di Bove vorkommen.

Das specifische Gewicht dieses künstlichen Apatitpulvers ist 3,069 (das specifische Gewicht des gemengten Chlor-Fluor-Apatits liegt zwischen 3,166 und 3,235), und die Härte ist so groß, daß eine Flußspathplatte, die man mit diesem Pulver mittelst eines Korkpfropfens reibt, schwach matt wird.

Das Kochsalz löst in der Schmelzhitze den Apatit oder seine Bestandtheile mit außerordentlicher Leichtigkeit auf, und setzt ihn beim Erkalten in langen, nadelförmigen Krystallen wieder ab, so daß er beim Auflösen des Kochsalzes als schweres krystallinisches Pulver zurückbleibt. Es ist dieses ein vortreffliches Mittel geringe Mengen von Phosphorsäure in Stein- und Erdarten zu entdecken. Ich schmelze dieselben mit 50 Proc. Kochsalz, und wenn die Masse einigermaßen leicht schmelzbar ist, scheiden die Silicate sich vom Kochsalz, welches dann einen leicht trennbaren Kuchen auf dem Silicate bildet. Ist die Masse schwer schmelzbar, bildet das Kochsalz die Ausfüllung von kleineren oder größeren Höhlungen, die in der geschmolzenen und gesinterten Verbindung vertheilt sind, und nach dem Auflösen des Kochsalzes eine auffallende Aehnlichkeit mit den Blasenräumen der Mandelsteine haben. Beim Auflösen des Kochsalzkuchens ragen gewöhnlich die kleinen Apatitnadeln wie Haare aus dem theilweise gelösten Salze hervor. Nach vollendeter Auflösung bleiben die Bruchstücke der Nadeln vom Apatit im Glase, und da sie in sehr verdünnter Salz- oder Salpetersäure auflöslich sind, können sie leicht als solche bestimmt werden. Ich habe *Grünsteine* aus der scandinavischen Ur- und Uebergangsformation, aus unserer jüngeren Bildung, wo sie als Geschiebe vorkommen, aus dem großen Trappgebiete von Grönland, so wie den *Basalt* von Steinheim und einen grobkörnigen *Basalt* oder *Lava* aus Island; ferner drei Varietäten des Granits und Gneusses von Bornholm und zwei Varietäten des Glimmerschiefers, durch Schmelzen mit Kochsalz auf Phos-

phorsäure geprüft und aus allen sehr deutliche Apatite erhalten. Die eine Varietät des Bornholmschen Granits gab die Apatitkrystalle besonders schön und deutlich.

Schon Fownes hat auf die Verbreitung der Phosphorsäure in den plutonischen Gebilden der Gebirgsmassen aufmerksam gemacht, und obgleich Kersten und Elsner die Thatsache bestritten, haben doch Svanberg und Struve, gleich nach ihrer Entdeckung der Reaction des molybdänsauren Ammoniaks auf Phosphorsäure, die Behauptung der allgemeinen Verbreitung der Phosphorsäure wieder aufgenommen. Meine Untersuchungen können als eine Bestätigung des ausgebreiteten Vorkommens der Phosphorsäure im Mineralreiche, und namentlich in den plutonischen Gebirgsarten, dienen, und die Erklärung des ursprünglichen Vorhandenseyns der Phosphorsäure im Ackerboden, dem mittelbaren oder unmittelbaren Producte verwitterter Gesteine, findet also keine weitere Schwierigkeit.

Aus dem Ackerboden selbst, auch in den tiefern Schichten, wohin keine organischen Substanz der obern Ackerkrume gedrungen sind, kann man durch die vorhin beschriebene Methode Apatit erhalten und also die Gegenwart der Phosphorsäure nachweisen. Ich will hier eine solche Untersuchung eines Mergels von der Insel Mönen anführen, welcher dem Geschiebethon angehört und 10 Proc. kohlensauren Kalk (zerstörte Kreide) enthält.

Ein Pfund getrockneten und gesiebten Mergels wurde in einem hessischen Tiegel, der mit einem, mit demselben Thone verkitteten, Deckel verschlossen war, geschmolzen. Die Hitze muß bei diesen Versuchen so groß seyn, daß Gufseisen leicht schmilzt. Hat der Tiegel sich gehalten und ist der Thonkitt gut geschmolzen, so ist nur wenig Kochsalz verflüchtigt und nach dem Zerschlagen des Tiegels kann man den Kochsalzkuchen vom Silicate abheben. Er wurde in Wasser gelöst, die Auflösung filtrirt, und das Filtrum, nachdem es ausgewaschen worden, verbrannt. Der Rückstand bestand aus einer braunen, glimmerförmigen Verbindung, von der ich später reden werde, und aus Apatit,

und indem ich ihn mit sehr schwacher Salzsäure bei geringer Erwärmung behandelte, löste sich aller Apatit, aber nur eine sehr geringe Menge Eisen auf. Das Aufgelöste wog 3,725 Gran und war sowohl Chlor- als Fluorapatit. Rechnet man den gemengten Apatit zu 41 Proc. Phosphorsäure, so enthält das Pfund von dieser rohen Erde, die aus einer so tiefen Grube genommen war, daß die Cultur der Oberfläche schwerlich irgend einen Einfluß darauf gehabt hatte, 1,527 Gran oder $\frac{2}{10,000}$ Phosphorsäure. Nimmt man ferner an, daß die Wurzeln unserer angebauten Cerealien die Nahrung aus der Erde bis zur Tiefe eines Fusses ziehen, so kommen die Pflauzen, welche auf einem Quadratfusse der Oberfläche wachsen, mit einem Kubikfusse des Bodens in Wechselwirkung. Da 1 Kubikfuss eines solchen Bodens ohne bedeutende Fehler zu 100 Pfd. gerechnet werden kann, so enthält der Boden, welcher die auf einem Quadratfusse wachsenden Pflanzen ernährt, 152,7 Gran Phosphorsäure, welches auf einer dänischen Tonne Landes, gleich 56,000 Quadratfuss, ungefähr 1100 Pfd. ausmacht. Diese Menge scheint hinreichend die auf diesem Boden wachsenden Pflanzen für eine Reihe von Jahren zu versehen ¹⁾).

Die durch eine einmalige Schmelzung einer solchen Erde oder eines plutonischen Gesteins ausgezogene Phosphorsäure ist indessen nicht die ganze Menge, welche in demselben vorkommt. Wenn man das Silicatglas pülvert und von Neuem mit Kochsalz schmilzt, bekommt man eine neue obgleich verhältnißmäßsig geringe Menge Apatit.

- 1) Hier wird jetzt viel saurer phosphorsaurer Kalk als Düngungsmittel angewandt; er enthält 10,65 Proc. Phosphorsäure und man sieht 600 Pfd. pr. Tonne Land für eine hinreichende Düngung auf 3 Jahre an. Diefß giebt beinahe 64 Pfd. pr. Tonne Land für 3 Jahre, oder $1\frac{1}{3}$ Pfd. im Jahre; mithin würde die im ursprünglichen Boden sich findende, bis jetzt übersehene, Phosphorsäure auf 54 Jahre für angebaute Pflanzen hinreichend seyn, selbst unter der Voraussetzung, daß nichts von der durch die Pflanzen ausgezogenen Phosphorsäure, dem Boden zurückgegeben würde. Auf jeden Fall mag die Phosphorsäure des Mergels eine wesentliche Rolle bei seiner Wirkung spielen.

Das Vorkommen des Fluors im Thierreiche setzt das Vorkommen desselben in den Pflanzen voraus, wenn man nicht annehmen will, dafs alles Fluor in den höheren Thieren und in den Menschen vom Trinkwasser herrühre. Kommt das Fluor aus der Pflanzennahrung, so mufs es sich im Boden befinden, in welchem man es indessen, soviel mir bekannt, nicht hat nachweisen können, obgleich die Bildung vieler Bodenarten und namentlich unsers Thons aus zerstörtem Granit auf den Glimmer als die Quelle des Fluors hinweisen. In den Producten der Schmelzung von Bodenarten mit Kochsalz läfst sich indessen das Fluor mit grofser Leichtigkeit nachweisen durch die bekannte Reaction mit Schwefelsäure in einem vollkommen klaren Reagenzgläschen; sowohl der Apatit als die braunen, glimmerartigen Blättchen greifen unter den angeführten Umständen das Glas an.

Ich habe mit Rücksicht auf das Vorkommen der Phosphorsäure und des Fluors folgende Bodenarten untersucht und aus allen Fluor-Chlorapatit erhalten: Einen Thonmergel und einen gelben Lehm von der Insel Möen, einen Mauerstein aus Cyprinenmergel (einer untergeordneten Formation der Geschiebformation, welche die Schalen von *Cyprina islandica* enthält) aus der Gegend von Flensburg, Marschthon von der Insel Sylt, und Gartenboden aus der Nähe von Kopenhagen. Mit Rücksicht auf die letzten beiden Bodenarten will ich noch hinzufügen, dafs ein Boden, der humöse oder überhaupt kohlenhaltige Stoffe enthält, vor dem Schmelzen mit Kochsalz in der Muffel geröstet werden mufs, um die organischen Substanzen zu verbrennen; wenn das nicht geschieht, wird das Eisen reducirt und man bekommt ein mehr oder wenig grofses Korn von Gußeisen, welches Phosphor in sich aufgenommen hat.

Die andere im Kochsalz aufgelöste und bei seinem Erkalten herauskrystallisirende Verbindung zeigt sich als die schon früher erwähnten, glimmerartigen Blättchen; sie scheinen leichter als das geschmolzene Kochsalz zu seyn, und fin-

finden sich vorzugsweise in dem obern Theile des Kochsalzkuchens. Sie bilden sehr dünne, biegsame, braune oder rothe, durchsichtige Blättchen und haben vollkommen den äufsern Charakter des Glimmers. Sie enthalten Kieselerde, Thonerde, die Oxyde des Eisens, Magnesia, Kali und Fluor und, was sehr auffallend ist, allein auch mit dem Verhalten des natürlichen Glimmers übereinstimmt, keinen Kalk und kein Natron, obgleich sie sich im Kochsalz, welches viel Chlorkalium enthält, gebildet haben. Die äufsern Eigenschaften dieser interessanten Verbindung, und die chemische Zusammensetzung lassen kaum einen Zweifel übrig, dafs es wirklicher Glimmer ist, der sich hier unter dem Einflusse des Kochsalzes auf die zusammengesetzten Silicate des Bodens gebildet hat.

Ich will indessen hier nicht weiter auf diese Beobachtungen eingehen, da die Bildung dieser und ähnlicher Substanzen den Gegenstand einer andern Abtheilung dieser Untersuchung ausmachen wird.

Ich habe früher des Vorkommens des Apatits in den skandinavischen Magneteisensteinlagern erwähnt, und der Gedanke, wie sich unsere Morasterzlager verhalten würden, wenn sie in Verbindung mit Kochsalz einer Schmelzung unterworfen würden, lag nun sehr nahe. Da das Morasterz ausser Eisenoxyd und Phosphorsäure, Kalk, Kieselerde, Titansäure und organische kohlenhaltige Substanzen enthält, war die Möglichkeit wenigstens gegeben, dafs solche Morasterzlager bei einer Schmelzung mit Kochsalz im Grofsen, Produkte geben würden, welche denen der skandinavischen Magneteisensteinlager ähnlich wären. Der Humussäure des Morasterzes würden die merkwürdigen bituminösen Stoffe der Magneteisensteinlager entsprechen und Kieselerde, Kalk, Magnesia und Eisenoxyd würden die mannigfaltigen Verbindungen der Amphibolreihe, ähnlich denen der Magneteisensteinlager, bilden können, während Apatit und Titanverbindungen auch aus den Bestandtheilen des Morasterzes zusammengesetzt werden könn-

ten ¹⁾. Ich schmolz 1 Pfund Morasterz mit $\frac{1}{2}$ Pfund Kochsalz; in diesem Falle trennt das Kochsalz sich nicht vom Eisenoxyd und bildet keinen oben auf demselben liegenden Kuchen. Es entstehen aber Höhlungen, welche zum Theil mit Kochsalz gefüllt, zum Theil leer sind. In den mit Kochsalz gefüllten Höhlungen finden sich nach Auflösung des Kochsalzes kleine Nadeln, in denen ich nach Auflösung derselben in Salzsäure durch molybdänsaures Ammoniak, Phosphorsäure, und durch Schwefelsäure und Weingeist Kalk entdeckt habe; es war also Apatit. Das Morasterz war schwarz geworden, hatte eine Härte, daß es kaum vom Stahl geritzt wurde, einen unvollkommen muscheligen Bruch und wirkte sehr stark auf die Magnetonadel, ohne polarisch zu seyn. In den größern, leeren Höhlungen war die Oberfläche mit kleinen scharfen Krystallen bedeckt, die man unter der Lupe leicht als regelmäßige Octaëder erkannte. Das Morasterz war also in Magneteisenstein verwandelt und die Phosphorsäure als Apatit von dem Eisenoxyd getrennt. Ein vergleichender Versuch, in welchem Morasterz für sich derselben Hitze ausgesetzt wurde, gab keine Spur von Schmelzung oder Krystallisation und die Farbe war braun, obgleich etwas dunkler, als die des wasserhaltigen Morasterzes zu seyn pflegt.

Diese letzte Beobachtung scheint mir von Bedeutung zu seyn für Umwandlung mechanisch abgesetzter Substanzen in krystallinische Verbindungen. Obgleich das Kochsalz keine Verbindung mit dem Eisenoxydul einzugehen scheint, veranlaßt es doch eine Umordnung der einzelnen Theile, und ähnliche Wirkungen mögen wohl vielfältig in der Natur vorgekommen seyn.

Ich habe vorhin angeführt, daß ich eine geringe Menge

1) Ich habe hier nur auf die Analogie zwischen Morasterz und Magneteisensteinlagern aufmerksam machen wollen, ohne daß es meine Absicht ist, ihnen gemeinschaftlichen Ursprung zuzuschreiben. Viele der skandinavischen Magneteisensteinlager sind vermuthlich durch eine Metamorphose der Grünsteine entstanden.

phosphorsauren Eisenoxyds dem phosphorsauren Kalk vor dem Schmelzen mit Kochsalz hinzufügte; meine Absicht hierbei war dem künstlichen Apatit die grünlich-bläulich oder violette Farbe zu geben, welche der natürliche so häufig annimmt. Eine umfassende Untersuchung der im Mineralreiche vorkommenden Verbindungen mit blauer Farbe hat nämlich zu dem Resultat geführt, daß sie in sehr vielen Fällen, namentlich bei Silicaten und Alumina-ten von der Gegenwart des phosphorsauren Eisens abhängig ist, und daß so der Vivianit das Hydrat der Verbindung ist, die den Cyanit, Saphirin, Spinell und Corund, so wie den Flußspath und Apatit färbt. Meine Untersuchungen zeigten, daß man in allen diesen Mineralien sowohl Phosphorsäure als Eisenoxyd entdecken konnte, und es blieb nur übrig durch Synthese zu beweisen, daß der wasserfreie, phosphorsaure Eisenoxydul dieselbe Farbe und färbende Kraft hat, als das Hydrat dieser Verbindung. Ich glaubte, daß dieses sich am leichtesten durch Schmelzung bewerkstelligen ließe, und um die Bildung eines pyrophosphorsauren Salzes zu vermeiden, setzte ich zu einem Aequivalent des gewöhnlichen phosphorsauren Natrons noch ein Aequivalent Natron, und unterwarf die Mischung der Glühhitze. Bei allen Hitzgraden, denen ich diese Mischung in einem Ofen, der Gußeisen mit Leichtigkeit schmilzt, aussetzte, blieb sie vollkommen ungeschmolzen, und meine Versuche auf diese Weise phosphorsaures Eisenoxydul durch doppelte Zersetzung in der Schmelzhitze darzustellen, mißglückten gänzlich. Ich wählte daher das Kochsalz als ein Verdünnungs- und Schmelzmittel für diese Mischungen, mengte schwefelsaures Eisenoxydul, phosphorsaures Natron mit drei Aequivalenten Natron und einer überwiegenden Menge Kochsalz, und setzte das Gemenge während einer halben Stunde einer starken Weißglühhitze aus. Wenn der Tiegel vollkommen dicht gehalten, und die Hitze nicht so lange gedauert hatte, daß ein bedeutender Theil des Kochsalzes verflüchtigt worden, so war die geschmolzene Masse gleichförmig und größtentheils ungefärbt, wäh-

rend ihre Oberfläche mit glimmerartigen hochrothen Blättchen bedeckt war. Sie hinterließ bei der Auflösung in Wasser ein feines, krystallinisches Pulver. Der Theil der geschmolzenen Verbindung der in Berührung mit den Wänden des Tiegels war, hatte in einer Dicke von 2 bis 3 Linien eine dunkelviolette Farbe angenommen, wie man sie bei den Varietäten des Flußspaths findet, die Werner mit dem Namen Violblau bezeichnet.

Die Hauptmasse war also ungefärbtes, phosphorsaures Eisenoxydoxydul. Auf der Oberfläche, wo der Sauerstoff verhältnißmäßig freieren Zugang hatte, hatte sich phosphorsaures Eisenoxyd mit rother Farbe gebildet und in Berührung mit den Tiegelwänden durch deren, vermöge der Hitze geöffneten Poren, eine geringe Menge Sauerstoff in die Masse eindringen konnte, bildet sich phosphorsaures Eisenoxydoxydul mit violetter Farbe.

Wenn dagegen der Tiegel durch eine feine Ritze einen Theil des geschmolzenen Kochsalzes ins Feuer filtriren ließ, waren die Verhältnisse ganz anders. Die Höhlungen des Kochsalzes waren dann mit schwarzen, metallglänzenden, glimmerartigen Krystallblättern gefüllt, welche die größte Aehnlichkeit mit der glimmerförmigen Varietät des Eisenglanzes hatte. Man kann dieselben glimmerartigen Krystalle bilden, ohne daß der Tiegel Risse bekommt, wenn man eine so starke und dauernde Hitze anwendet, daß der größte Theil des Kochsalzes sich verflüchtigt. Diese krystallinische Verbindung bildet sich also nur, wenn ein Theil des Kochsalzes während des Schmelzens entfernt wird, indem es entweder verdampft oder in Verbindung mit einer geringen Menge phosphorsauren Eisenoxyduls durch die feinen Risse des Tiegels abfließt. Es rührt dies ohne Zweifel daher, daß der Sauerstoff der Luft unter den angeführten Bedingungen auf das Eisenoxydul einwirkt und es höher oxydirt, wodurch die krystallinische Verbindung gebildet wird. Diese, deren quantitative Analyse ich noch nicht gemacht habe, enthält Eisenoxyd, Eisenoxydul und Phosphorsäure.

Merkwürdig ist es, daß das angeführte phosphorsaure Eisenoxydul, welches sich während des Schmelzens beim Anschluß der Luft bildet, sich durch Auswaschen mit Wasser höher oxydirt, aber nicht die blaue Farbe annimmt, welche die weisse, phosphorsaure Eisenoxydulverbindung in den Torfmooren und in einzelnen Lavaparthien erhält, wenn man sie der Luft aussetzt. Sie durchläuft während des Auswaschens die Farben von isabellgelb bis ins dunkelbraune, ohne daß sich dabei grünliche oder bläuliche Tinten zeigen.

Wo die geschmolzene Masse den Thontiegel durchdringt, zeigen sich blaue, bläulich-grüne und selbst grüne Farben, die denen der früher genannten Mineralien ähnlich sind. Die glimmerartigen Blätter des phosphorsauren Eisenoxydoxyduls erscheinen, wenn sie fein zerrieben in Wasser ausgerührt werden, mit der tiefblauen Farbe, welche der Ceilanit bisweilen zeigt.

Nach diesen Erfahrungen muß ich es für ausgemacht annehmen, daß das phosphorsaure Eisen in seiner Verbindung, besonders mit Thonerde, doch auch mit andern Stoffen, eine Reihe von Farben giebt, deren Mittelpunkt die rein blaue Tinte ist, und von derselben auf der einen Seite ins Dunkelviolette übergeht, wie bei den Varietäten des Flussspaths, auf der andern Seite in die bläulich-grüne Farbe, welche die arendschen Apatite zeigen. Bei einigen Mineralien geht diese vom phosphorsauren Eisenoxydoxydul abhängige Farbe durch eine spätere Oxydation in gelbe und rothe Tinten über, wie wir sie so häufig bei einigen Varietäten des Cyanits finden ¹⁾.

Es folgt aus diesen Untersuchungen, daß das Kochsalz in der Schmelzhitze sich gegen eine Menge Verbindungen

1) Ich habe folgende blaue Mineralien auf Phosphorsäure und Eisen untersucht:

Cyanit von Litchfield	Eisenoxyd 0,98 Proc.	Phosphorsäure 0,19 Proc.
Saphirin aus Grönland	„ 2,45 „	„ 1,75 „
Corund aus Sibirien	„ 1,45 „	„ 0,94 „

Flussspath enthält sowohl Eisen als Phosphorsäure; auch der Apatit ist natürlicher Weise hinzu zu rechnen.

wie das Wasser bei niedriger Temperatur verhält; bald löst es die Stoffe auf, und setzt sie beim Erkalten wieder ab, theils in Verbindung mit einem seiner Bestandtheile (Apatit), theils ohne etwas hinzuzufügen (Glimmer); bald löst es dieselben auf, und hält sie vollständig in seiner Masse aufgelöst, ohne daß sie krystallinische Formen annehmen können (das phosphorsaure Eisenoxydul); bald nehmen diese Stoffe, während sie aufgelöst sind, Sauerstoff aus der Luft auf, wodurch sie im krystallinischen Zustande wieder ausgeschieden werden (das phosphorsaure Eisenoxydoxydul). Da nun das Kochsalz auf der Erde in einer solchen Menge vorkommt, daß es für jede 1000 Fufs Mitteltiefe des Oceans eine Schicht von ungefähr zehn Fufs über die ganze Erdoberfläche bilden würde, so ist begreiflich, daß das Chlornatrium eine große, eingreifende Rolle gespielt haben muß bei der Bildung vieler Stoffe, besonders zu einer Zeit, wo das Wasser noch nicht auf der Erdoberfläche verdichtet worden war. Eine ähnliche Rolle mag das Kochsalz aber auch in spätern Zeiten bei der Bildung von vulkanischen und plutonischen Gesteinen, und den denselben angehörigen Mineralien ausgeübt haben, indem das Meerwasser, durch die Hitze verdampft sein Kochsalz in Verbindung mit den geschmolzenen Gesteinen zurückließ. Durch spätere Auswaschungen ist das auflösliche Kochsalz verschwunden, während die, durch dasselbe gebildeten Mineralien zurückblieben.

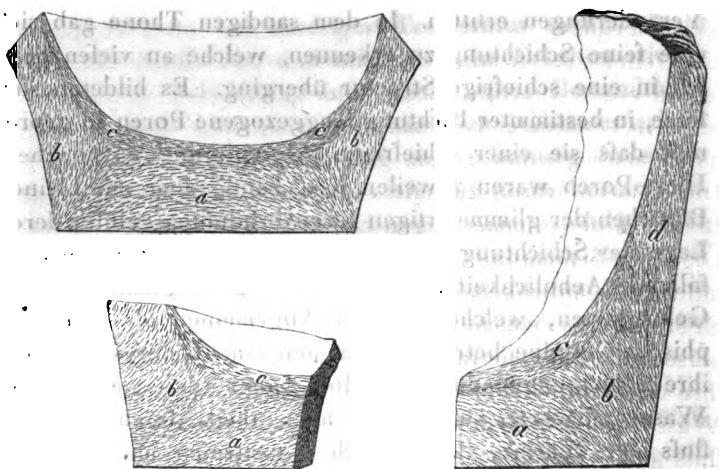
Es ist indessen kaum zu bezweifeln, daß auch andere Chloride und neutrale Salze, namentlich Chlorcalcium und kohlensaurer Kalk, in der Schmelzhitze auflösend auf verschiedene Substanzen wirken und dieselben beim Erkalten krystallinisch absetzen.

Ich habe bei diesen Versuchen noch eine andere Reihe von Beobachtungen gemacht, die nicht ohne geognostisches Interesse sind. In den Tiegeln, worin das phosphorsaure Eisenoxydul mit Kochsalz geschmolzen worden und sich Risse gebildet hatten, wodurch Kochsalz und phosphorsaures Eisen ausgeflossen waren, hatte die Tiegelmasse interessante

Veränderungen erlitten. In dem sandigen Thone gab sich eine feine Schichtung zu erkennen, welche an vielen Stellen in eine schiefrige Structur überging. Es bildeten sich feine, in bestimmter Richtung langgezogene Poren so geordnet, daß sie einer schiefrigen Absonderung entsprachen. Diese Poren waren zuweilen leer, häufig aber mit kleinen Blättchen der glimmerartigen Eisenverbindung gefüllt, deren Lage der Schichtung entsprach. Das Ganze hatte eine auffallende Aehnlichkeit mit den schiefrigen, glimmerreichen Gebirgsarten, welche man im Allgemeinen als metamorphische Gesteine betrachtet, das heißt als Gebirgsarten, die ihre Schichtung dadurch erhalten haben, daß sie aus dem Wasser abgesetzt sind, später aber, theils durch den Einfluß der Wärme, theils durch Hinzutreten anderer Substanzen eine krystallinische Structur erhalten haben, während ihre Schichtung entweder unverändert geblieben ist oder durch glimmerartige Mineralien noch deutlicher hervorgehoben worden ist. Des Zusammenhangs glimmerartiger Bildungen mit der Einwirkung des geschmolzenen Kochsalzes auf Silicate habe ich schon früher in dieser Abhandlung erwähnt, und ich werde später in einer andern Abtheilung dieser Untersuchung weitläufiger darauf zurückkommen.

Die in der Tiegelmasse ausgedrückte Schichtung ist nicht durch das Eindringen der Blättchen des phosphorsauren Eisens *hervorgebracht*, sondern nur durch dasselbe *sichtbar geworden*, welches dadurch bewiesen wird, daß die, durch die Blasenräume und die Blättchen des phosphorsauren Eisens ausgedrückten Schichten sich in allen Tiegeln auf dieselbe Weise zeigen.

Die Holzschnitte auf S. 584 stellen drei solcher Bruchstücke von Tiegeln dar, in denen man die verschiedenen Operationen des Töpfers bei der Verfertigung des Tiegels verfolgen kann. *a* ist in allen 3 Figuren der Thonklumpen, aus dem der Töpfer auf der Scheibe den Anfang und Boden des Tiegels bildet; die Schichten *b* rühren von einem Druck von Außen her, und *c* durch die Glättung des innern Theils



des Tiegels, welches der Töpfer ausführt, indem er die Scheibe herumlaufen läßt. Die Schichtung in *d* rührt endlich von dem Hinaufdrücken, welches der Töpfer immer vornimmt, wenn er ein höheres Gefäß formen will.

Im Jahre 1844 legte ich der *British Association* eine Arbeit vor, welche theils den Zweck hatte zu zeigen, wie die scandinavischen Alaunschiefer ihre charakteristischen Bestandtheile dem Einflusse der Tangarten auf ihre Bildung verdanken, theils nachzuweisen, wie dieser Alaunschiefer durch den Einfluß von Grünsteingängen ohne Veränderung seiner Bestandtheile (mit Ausnahme des Verschwindens der kohligten Stoffe) in eine Reihe von Bildungen verändert ist, die mit wirklichem charakteristischem Gneus endigt. Der Beweis ist theils chemisch-analytisch geführt, theils geognostisch an Ort und Stelle, und ich erwähne dieser Arbeit hier, theils um sie in Erinnerung zu bringen, da sie in Deutschland wenig bekannt geworden zu seyn scheint, theils um auf die Verschiedenheit dieser Metamorphose von denen, die in dieser Abhandlung besprochen sind, aufmerksam zu machen. Die Bildung des Gneusses an der Förde von Christiania aus Alaunschiefer ist eine reine Umsetzung der Bestandtheile; Metamorphosen

durch geschmolzenes Kochsalz veranlaßt, haben ohne Zweifel Natron zu den Silicaten hinzugefügt. Ueber diese Veränderungen so wie über andere, dahin gehörige Bildungen, werde ich in einer meiner folgenden Abhandlungen nähere Aufschlüsse mittheilen.

VI. *Ueber das Taschenbarometer; von C. Brunner von Wattenwyl.*

(Aus den Mittheil. d. Berner Naturforschend. Gesellschaft, vom Hrn. Verf. übersandt).

Die Uebelstände des Kopp'schen Barometers ¹⁾ bestehen nach der eigenen Angabe des Verfassers 1) in der Erschütterung des Quecksilbers in dem Luftbehälter beim Transport, wodurch nicht allein das erstere sich leicht oxydirt und die Gefäßwände beschmutzt, sondern auch das ganze Instrument zerbrechlich wird; 2) in der Schwierigkeit des genauen Einstellens des Quecksilbers auf die Spitze mit Hülfe des Kolbens, welcher nur mit der Hand niedergedrückt wird; 3) in der Unmöglichkeit eines genauen Ablesens, indem die Steigröhre des Quecksilbers in dem Luftbehälter eingeschlossen ist.

Bei denjenigen Instrumenten, welche für den practischen Gebrauch bestimmt sind, kann ein scheinbar unbedeutender Nebenumstand den ganzen Werth einer principiell ganz richtigen und sinnreichen Einrichtung zerstören und die geringste Verbesserung in dieser Beziehung den Werth eines solchen Instrumentes bedingen.

Die Verbesserungen, welche ich an dem Kopp'schen Instrumente anbrachte, bestehen in der Aufhebung all jener oben angeführten Uebelstände.

Bevor ich zu der Beschreibung übergehe, gebe ich für

1) Poggendorff's Annalen, LVI, 1842, S. 513.

diejenigen Leser, welche mit den frühern Arbeiten über diesen Gegenstand nicht bekannt sind, folgende einfache Erläuterung des August'schen Princips ¹⁾).

Wenn ein bestimmtes Volumen Luft abgesperrt und um einen gewissen Volumtheil comprimirt wird, so ist der Druck, den die comprimirte Luft ausübt, um so gröfser, je dichter die abgesperrte Luft vor der Compression war. Wenn man z. B. am Ufer des Meeres ein gewisses Volumen Luft absperirt und durch Druck um $\frac{1}{10}$ verdichtet, so wird diese comprimirte Luft einer Quecksilbersäule von bestimmter Länge das Gleichgewicht halten. Comprimirt man nun auf einem Berge ein gleich großes Volumen Luft ebenfalls um $\frac{1}{10}$, so wird die Quecksilbersäule, welche hier die comprimirte Luft aequilibrirt, niedriger seyn als am Ufer des Meeres, und zwar wird der Unterschied in einer bestimmten Beziehung zu dem Dichtigkeitsverhältnifs der Luft auf der unteren und oberen Station stehen.

v sey das Volumen der Luft, welche bei dem eben stattfindenden Barometerstand B abgesperrt wird.

v' sey das Volumen der gleichen Luft, nachdem sie comprimirt wurde. Diese Luft drücke auf Quecksilber, welches in einer gegen die äußere Luft offenen Steigröhre sich erheben kann, und h sey die Höhe der auf diese Weise gehobenen Quecksilbersäule.

Die comprimirte Luft befindet sich alsdann offenbar unter dem Druck $B + h$ und wir haben nach dem Mariotte'schen Gesetze folgende Gleichung:

$$v : v' = B : B + h$$

und leiten daraus ab

$$B + h = \frac{v \cdot B}{v'} \quad \text{und}$$

$$h = \left(\frac{v - v'}{v'} \right) B \quad \text{oder}$$

$$B = h \frac{v'}{v - v'}$$

das heißt, der jeweilige Barometerstand ist gleich der durch den Druck der comprimirtten Luft gehobenen Quecksilber-

1) Pogg. Ann. III, S. 329. und Gehler, physikal. Wörterbuch II, 526.

säule, multiplicirt mit einem constanten Coëfficienten, welcher immer der gleiche ist, wenn das abgesperrte Luftvolumen v und die nachherige Compression (resp. v') stets gleich bleiben. Dieser Coëfficient kann ein für alle Mal für ein gegebenes Instrument empirisch durch Vergleichung mit einem guten Barometer bestimmt werden, indem man die beobachtete Erhebung des Quecksilbers in der Steigröhre in die gleichzeitig beobachtete Barometerhöhe dividirt. Der Barometerstand sey z. B. 719,5 Millim. und die Erhebung des Quecksilbers in der Steigröhre betrage 162,5 Millim., so ist der constante Coëfficient $\frac{917,5}{162,5} = 4,428$.

Dieses Princip wird nun auf folgende Weise practisch ausgeführt:

Das Instrument besteht aus zwei Theilen, welche gesondert transportirt und erst beim Gebrauch zusammengesetzt werden.

Der Quecksilberbehälter *A* (Taf. IV. Fig. 17) ist ein Cylinder aus abgedrehtem Eisen, in welchem sich ein Kolben (*B*) quecksilberdicht auf und nieder bewegen läßt durch eine Schraube (*C*), wodurch das im Gefäß enthaltene Quecksilber beliebig in die Höhe gedrängt oder gesenkt werden kann. Beim Transport wird die Schraube herunter gelassen und das Gefäß mit einem eisernen Deckel *D* durch Aufschrauben verschlossen.

In diese Schraubenwindung paßt die Fassung *E* der weiten Glasröhre *F*, welche beim Gebrauche aufgeschraubt wird. Alsdann drängt man durch die Schraube *C* das Quecksilber in die Höhe, bis die untere Oeffnung der innern Röhre *G*, welche oben und unten offen ist, durch das ansteigende Quecksilber verschlossen und dadurch in der weiten Röhre *F*, welche oben in die Messingfassung *H* luftdicht eingekittet ist, ein bestimmtes und offenbar bei jeder Wiederholung des Versuches gleiches Volumen Luft abgesperrt wird. Diese Luft steht bis zum Moment des Absperrens durch die untere Oeffnung von *G* mit der äußeren Luft in Verbindung und hat daher genau die

gleiche Spannkraft. Durch weiteres Zuschrauben von *C* wird die abgeschlossene Luft comprimirt und dieses wird fortgesetzt, bis das Quecksilber genau auf die eiserne Spitze *J* eingestellt ist. Damit ein kleiner Fehler in dieser Einstellung bei den verschiedenen Versuchen eine möglichst geringe Differenz in dem abgesperrten Luftvolumen ausmache, ist an der Stelle der Eisenspitze *J* der Raum der weiten Röhre *F* durch einen eingekitteten eisernen Ring *K* verengt.

Diese Compression der Luft bewirkt ein Steigen des Quecksilbers in der oben offenen und unten in das Quecksilber tauchenden Röhre *G*, und der Abstand der Quecksilber-Kuppe in dieser Röhre von der Spitze *J*, auf welche das äußere Niveau eingestellt ist, ist offenbar das Maafs des Druckes der in *F* eingeschlossenen Luft.

Da die geringste Temperaturveränderung dieser abgesperrten Luft eine Veränderung ihrer Spannkraft bewirkt, so darf man während der Dauer des Versuches die äußere Röhre nicht berühren, anderseits ist eine möglichst genaue Ablesung der gehobenen Quecksilbersäule von Wichtigkeit, indem dieselbe zur Berechnung des Barometerstandes mit einem Coëfficienten multiplicirt werden muß. Diese Bedingungen werden durch die Spitzeneinstellung erreicht. An der Fassung *H* befindet sich bei *M* ein Zahnrad, welches durch den Kopf *N* gedreht wird und in Kerben eingreift, welche auf der Rückseite des Messingstäbchens *L* angebracht sind. Es kann somit durch Drehung des Kopfes *N* die an dem Stäbchen *L* befestigte eiserne Spitze *O* ganz genau auf die Kuppe des Quecksilbers in der Röhre *G* eingestellt werden. Um den Fehler der Capillarität möglichst zu vermeiden und diese Einstellung leichter zu bewerkstelligen ist die Steigröhre *G* in ihrem oberen Theile erweitert ¹⁾. An der vorderen Seite des

1) Bei dem Kopp'schen Instrumente beträgt die Weite der Steigröhre nur ungefähr eine Linie, so daß die Capillar-Depression ziemlich bedeutend ist. Diese Größe ist bei starkem und geringem Druck stets

Messingstäbchens *L* ist eine Eintheilung in Millimeter und auf der Fassung *M* ein fester Nonius zur Ablesung von Zehntelmillimeter angebracht. Die Eintheilung ist so eingerichtet, daß die abgelesene Zahl unmittelbar den Abstand der Spitze *O* von der Spitze *J* angiebt.

Seitlich an der Röhre *G* ist das Thermometer *P* angebracht. Beim Gebrauch wird das Instrument an den seidenen Schnüren *Q* aufgehängt.

Für den Transport wird die Röhre *F* mit allen daran befestigten Theilen von dem Quecksilbergefäße abgeschraubt und in einem eigenen Futteral verpackt, sowie das Quecksilbergefäß. Um eine Temperatur-Erhöhung durch das unausweichliche Anfassen des Quecksilbergefäßes beim Schrauben zu vermeiden, ist das letztere mit einem wollenen Ueberzug versehen.

Der einzige Fehler, welcher nicht vermieden werden kann, ist die Temperaturerhöhung der eingeschlossenen Luft durch die Compression, wodurch ihre Spannkraft sich um etwas vermehrt. Da jedoch diese Vermehrung des Druckes bei jeder gleichförmig angestellten Beobachtung im Verhältniß der ursprünglichen Dichtigkeit der abgesperrten Luft bleibt, so thut sie der Richtigkeit der Beobachtung keinen Abbruch.

Ueberhaupt gewinnt das Instrument bedeutend an Zuverlässigkeit, wenn zu jeder Beobachtung die gleiche Zeit verwendet wird und je kürzer diese ist, desto richtiger wird die erstere. Bei einiger Uebung gelangt man leicht dahin, die Einstellung des Quecksilbers auf die untere Spitze *J* und diejenige der obern Spitze auf die Quecksilberkuppe in der Röhre *G* in 10 Sekunden auszuführen, Eine zweite Beobachtung, unmittelbar auf die erste folgend,

die gleiche und sollte somit vor der Multiplication mit dem Coëfficienten je zu der beobachteten Höhe addirt werden. Ich habe berechnet, daß die Vernachlässigung dieser Correction bei einer Veränderung des Barometerstandes von 12 Linien einen Fehler von einer Linie ausmacht. Dieser Fehler ist in den Kopp'schen Tabellen (Pogg. Ann. Bd. LVI, S. 529) nicht bemerkbar, weil die Barometerstände, bei denen die Beobachtungen angestellt wurden, wenig von einander abweichen.

fällt stets unrichtig aus. Zwei Beobachtungen müssen wenigstens eine Viertelstunde von einander abstehen, wenn die zweite irgend einen Werth haben soll.

Die Reduction des Barometerstandes auf 0° wird nach Angabe des Thermometers P mit Benutzung der gewöhnlichen Tabellen gemacht, nachdem der Barometerstand durch Multiplication des beobachteten h mit dem Coëfficienten berechnet worden.

Zur Beurtheilung des Instrumentes gebe ich hier eine Reihe von täglichen Beobachtungen. Der constante Coëfficient für mein Instrument war durch Vergleichung mit meinem Barometer gleich 4,428 bestimmt worden.

h am In- strument beobach- tet.	Berechne- ter Baro- meter- stand.	Beobach- teter Baro- meter- stand.	Unter- schied.	h am In- strument beobach- tet.	Berechne- ter Baro- meter- stand.	Beobach- teter Baro- meter- stand.	Unter- schied.
Millim.	Millim.	Millim.		Millim.	Millim.	Millim.	
160,4	710,2	710,9	— 0,7	162,3	718,6	718,7	— 0,1
161,0	712,9	713,8	— 0,9	163,1	722,2	721,8	+ 0,4
162,3	718,6	716,5	+ 2,1	162,1	717,8	716,0	+ 1,8
161,5	715,1	713,5	+ 1,6	161,0	712,9	711,9	+ 1,0
162,4	719,1	718,5	+ 0,6	161,6	715,1	715,7	— 0,6

Die aus dieser Tabelle sich ergebende Genauigkeitsgränze läßt noch Einiges zu wünschen übrig. Ich habe mich überzeugt, daß der Fehler wesentlich in der Temperaturveränderung der abgasperrten Luft während der wenn auch noch so kurzen Dauer des Versuches seinen Grund hat. Diesem Uebelstand kann dadurch abgeholfen werden, daß man die Röhre F mit einer zweiten Röhre umgibt, deren Durchmesser um einen Centimeter weiter ist. Diese Röhre wird an die Beschläge E und H wasserdicht angekittet, wobei jedoch die Schnüre Q außerhalb bleiben müssen, und der ganze Zwischenraum wird mit Wasser angefüllt, welches bleibend in dem Instrument belassen wird und dazu dient, die Einwirkung der Luftzüge etc. zu moderiren und die Temperatur im Innern gleichmäÙig zu erhalten. Schon eine Lufthülle, welche durch die zweite

Röhre gebildet wird, leistet gute Dienste, und möchte genügen. Die grössere Schwerfälligkeit, welche das Instrument durch das Anbringen der äussern Röhre erhält, wird durch den Vortheil der grösseren Genauigkeit aufgehoben.

Seit vier Jahren habe ich dieses Instrument beobachtet und mitunter auf Bergreisen mitgenommen, wo es wegen seiner leichten Verpackung und der Unveränderlichkeit grosse Dienste leistet. Wenn ich jedoch zum Schluss mein unpartheiisches Urtheil abgeben soll, ob dieses Instrument das Reisebarometer ersetzen könne, so muss ich mich dahin aussprechen, dass für Denjenigen, welcher sich auf seinen Reisen den mühsamen meteorologischen Beobachtungen unterzieht, die Zuverlässigkeit der Angaben ein viel zu wichtiges Moment ist, als dass sie um eine Bequemlichkeit zu erlangen, aufs Spiel gesetzt werden dürfte. Es scheint mir daher, dass namentlich bei den neueren compendiösen Einrichtungen des Reisebarometers, seine Sicherheit den Bequemlichkeiten des Taschenbarometers vorzuziehen sey. Diesem nämlichen Urtheile fallen das *Baromètre anéroïde*, das Regnault'sche Hypsometer und alle die bisherigen sinnreichen Vorrichtungen anheim, welche zu verschiedenen Zeiten als Ersatz des Barometers vorgeschlagen worden sind.

VII. *Beitrag zur Erklärung der Farben der Polarisationsbüschel durch Beugung;* *von W. Haidinger.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Sitzungsber. d. Wiener Acad. 1854 Jan.)

Eine Besprechung mit meinem hochverehrten Freunde, Hrn. Regierungsrathe v. Ettingshausen, über die Natur der Polarisationsbüschel und die wahrscheinlichste Erklärung derselben, veranlasste mich ein Paar Erscheinungen wieder näher in das Auge zu fassen, in Bezug auf das

Gewicht, welches sie der einen oder der andern Erklärungsart verschaffen könnten, das Auslöschchen eines linear-polarisirten Lichtstrahls beim Durchgange durch eine das Licht in senkrechter Richtung auf die vorige polarisirende Platte, und das Drehen des Büschels durch eine in zwei senkrecht auf einander stehenden Richtungen polarisirende Platte.

1. Auslöschchen des Lichtstrahles.

Bekanntlich polarisirt Reflexion nur theilweise, mehr oder weniger vollständig, je nach dem Winkel der Zurückstrahlung und auch nach der Natur des reflectirenden Körpers. Durch Refraction in doppeltbrechenden Krystallen wird das Licht in den beiden Strahlen absolut in zwei senkrecht gegen einander stehenden Richtungen polarisirt. Die beiden Strahlen können bekanntlich bei starker Doppelbrechung, schon indem man sich dicker Platten bedient, wie am Doppelspathe, von einander getrennt, einzeln für sich untersucht werden. Turmalin, Andalusit, Herapathit, oxalsaures Platinoxid, Knopit (Kalium-Platin-Cyandr-Cyanid) lassen schon in dünnen Platten nur einen der linear-polarisirten Strahlen durch, und absorbiren den anderen.

Man betrachte ein aus irgend einer Quelle linear in der Richtung ab , (Taf. V. Fig. 11) vollständig polarisirtes Lichtfeld $ABCD$, zum Beispiel im durchfallenden Lichte einen der Quere nach gelegten Turmalinkrystall, so daß PQ dessen Axe ist, oder ein Nicol'sches Prisma, dessen längere Diagonale die Richtung NO hat. In beiden Fällen erscheint der gelbe Büschel in verticaler Stellung, von der Sehrichtung, wo immer man hinblickt, aufwärts nach MN und abwärts nach MO gerichtet. Der Mittelpunkt M ist der hellste, jeder folgende dunkler in den Richtungen MN und MO , er ist der dunkelste, jeder folgende heller in den Richtungen MO und MQ . Uebereinstimmend mit der Beobachtung an Kanten, welche Flächen von verschiedener Beleuchtungs-Intensität begränzen, entstehen jenseits der Entfernung des deutlichsten Sehens, von Hell gegen Dunkel fort-

fortschreitend, die gelben Beugungsfarbensäume, vom Dunkel gegen Hell fortschreitend, die blauen oder violetten Farbensäume. Ich glaube diese Uebereinstimmung der Farbentöne in einer Mittheilung über das Interferenz-Schachbrettmuster ¹⁾ genau nachgewiesen zu haben, so wie in einer späteren Mittheilung ²⁾ auch die Thatsache, daß die Farbe des gelben Büschels wirklich aus der von Gelb durch Roth vorschreitenden Hälfte des Spectrums, also unzweifelhaft aus den Tönen der gelben Beugungsränder besteht, weil im homogenen blauen, linear-polarisirten Lichte der Büschel nicht gelb, sondern schwarz ist.

Man betrachte nun das Lichtfeld (Taf. V. Fig. 11) durch eine ganz genaue parallel gestellte gleichartige Platte, so daß der Büschel der neuen Platte in der Lage vollkommen mit demjenigen des Lichtfeldes übereinstimmt. Man wird wieder einen gleich gestellten Büschel sehen, höchstens bei Anwendung eines überhaupt stark lichtabsorbirenden Kryсталles, die ganze Erscheinung etwas dunkler.

Man drehe aber nun die Platte, die Schrichtung als Axe betrachtet, um 90° herum, wodurch sie also die Stellung Taf. V. Fig. 12 erhält. Dann fällt, gerade vom Mittelpunkt beginnend, die Folge der gelben Säume der zweiten Platte oder der Büschel auf die Folge der blauen Säume, oder der begleitenden Räume des Lichtfeldes; in diesen ist aber kein Gelb enthalten, also kann nichts übrig bleiben als Schwarz, während umgekehrt die Folge der blauen Säume auf die Folge der gelben fällt, die ebenfalls kein Blau enthalten, also auch nur den noch übrigen Farbenrest auslöschen und Schwarz zurücklassen kann.

Die ganz gleiche Erscheinung findet Statt, wo immer in dem Lichtfelde man durch die Platte hinblickt, es wird also alles Licht durch die Zerlegung der Farben an den Beugungssäumen bei gekreuzten Polarisationen zerlegt.

1) Sitzungsberichte der kais. Academie der Wissenschaften. Mathem.-naturw. Classe. October 1851. (Ann. Bd. 85. S. 350.)

2) Die Löwe'schen Ringe u. s. w. Sitzungsberichte u. s. w. Juli 1852 Bd. IX, S. 240. (Ann. Bd. 88. S. 451.)

Poggendorff's Annal. Bd. XCI.

Bei paralleler Stellung der Platten ist also das Maximum des Lichtdurchganges, bei gekreuzten Platten das Minimum, oder auch absolutes Null. Zwischenstellungen geben in Folge von partiellen Neutralisirungen auch die Abstufungen der Lichtmenge, wobei aber doch der Büschel, so lange er nur immer sichtbar ist, in der analysirenden Platte die unveränderte Stellung beibehalten muß. Auf seine Richtung NO und Normale PQ müssen die Cosinusse und Sinusse des Winkels bezogen werden, welche er mit dem Büschel des Lichtfeldes einschließt.

Der vorstehende Gang von Betrachtungen scheint mir sehr vortheilhaft, um als Entwicklung der Natur des polarisirten Lichtes zu dienen. Zuerst die Beobachtung der Büschel selbst im polarisirten Lichte. Dann die Vergleichung der Farben mit den Farben der Brechungssäume. Hierauf die Neutralisirung der Töne und das Auslöschen der Farben durch gekreuzte Büschel, als Beweis des Gegensatzes und der Ergänzung.

2. Drehen des Polarisationsbüschels.

Man lege auf eine das Licht vertical polarisirende Platte eine völlig durchsichtige Krystallplatte, in einer Richtung geschnitten, polirt, oder durch Theilung erhalten, welche das Licht in zwei senkrecht auf einander stehende Richtungen polarisirt, und zwar in einer solchen Lage, daß eine der Polarisationsrichtungen mit der senkrechten Polarisation der ersten Platte übereinstimmt. Eine Quarzplatte, der Axe parallel geschnitten, ein Glimmerblatt zeigt alle Erscheinungen. Die Taf. V. Fig. 13 stellt die beiden Platten vor; AB und CD sind die beiden Polarisationsrichtungen der Platte AB ; A_1B_1 ist die Polarisationsrichtung der linear in senkrechter Richtung polarisirten Lichtquelle.

Der Zustand, in dem sich die Platte AB befindet, kann als der doppelte des Zustandes der Platte Taf. V. Fig. 11 mit linearer Polarisation betrachtet werden. Während für letzteres die Erscheinungen der gelben Büschel und blauen Räume getrennt sind, sind sie hier vereint. Legt man zwei

linear-polarisirte Platten kreuzweise, so decken sich die complementären Töne, *einer über dem andern* und bringen *Schwarz*, Abgang des Lichtes, hervor. In der dipolarisirten Krystallplatte geschieht die Ergänzung der complementären Töne dergestalt, daß sie an jedem Orte auch *neben einander* stehen, und daher beide senkrecht auf einander stehenden Lichtstrahlenbündel hindurchlassen, also *Weiß* hervorbringen.

Um die Wirkung gegenseitiger Veränderung der Lage durch Drehungen um die Sehaxe zu untersuchen, welche durch den Punkt *M* der Taf. V. Fig. 14 hindurchgeht, denke man sich die Krystallplatte mit doppelter Polarisation unbeweglich, und drehe die linear-polarisirte Lichtquelle. Man hatte vorher sehr deutlich den Büschel entsprechend der festen Polarisation dieser Quelle in der Richtung *AB* wahrgenommen. Man drehe die Lichtquelle oben nach links von *A* gegen *A*₁ um einen beliebigen Winkel $\angle AMA_1$. Der gelbe Büschel bleibt sichtbar wie vorher, allein anstatt nach links, weicht er um die nämliche Winkelgröße $\angle AMA_1$, $\equiv \angle AMA_2$, entgegengesetzt nach rechts von *A* nach *A*₂ ab. Ist der Winkel $\angle AMA_1 \equiv 45^\circ$, so steht der dem Auge erscheinende Büschel senkrecht auf dem wirklichen; ist $\angle AMA_1 \equiv 90^\circ$, so liegt der Büschel horizontal in der Richtung von *CD*. Die hier beschriebenen Erscheinungen sind genau von der Art als ob *AB* die Projection eines Spiegels, *AM*₃ der Gegenstand zur Linken desselben, *A*₂*M* das Spiegelbild desselben zur Rechten wäre. Gleichzeitig mit der Spiegelfläche *AM* wirkt die senkrecht auf derselben stehende *CM*. Während durch die Wirkung von *AM* *A*₃ auf *A*₂ gelegt wird, bringt *CM* den Punkt *A*₃ auf *B*₂, also in eine gerade Linie, in die Fortsetzung von *A*₂*M* nach *B*₂. Die Erscheinungen sind so charakteristisch und doch auch nicht schwierig aufzufinden, daß ich sie bereits in meinen ersten Mittheilungen über die Polarisationsbüschel beschrieb ¹⁾.

Man kann sie auch so darstellen, daß man die linear-

1) Poggendorff's Annalen Bd. 64, S. 29 und Bd. 68, S. 305.

polarisirte Lichtquelle unbeweglich läßt, und die dipolarisirte Krystallplatte dreht. Für jede Winkeldrehung derselben, weicht der Büschel mit doppelter Winkelgeschwindigkeit ab. Es ist eigentlich ganz das Nämliche, aber es erscheint vortheilhafter, bei einer Vergleichung mit einem Spiegel, die Krystallplatte fest anzunehmen, da man doch auch die Spiegel an den Wänden fest zu sehen gewohnt ist. Die Krystallplatte wirkt hier übrigens rein wie ein *optischer Apparat*. Sie zeigt selbst keine Büschel, wenn man gegen gleichfarbiges nicht polarisirtes Licht hinsieht. Ich kann wohl billig an dem gegenwärtigen Orte von andern weniger auffallenden Erscheinungen abstrahiren, von welchen man analog den Löwe'schen Ringen oder den hellen Andreaskreuzlinien zuweilen Eindrücke fühlen dürfte, Büschel aber sieht man nicht. Die Intensität des durchgehenden Lichtes ist in allen Azimuthen vollkommen gleich, denn was an Lichtstärke durch die Winkelbewegung in Bezug auf eine der Polarisationsrichtungen verloren gegangen ist, wird eben durch dieselbe für die senkrecht auf der vorbergehenden stehende wieder ergänzt. Also betrachtet man eigentlich doch immer nur den durch die erste lineare Polarisirung entstandenen Büschel, wie in dem ersten der zwei hier erwähnten Fälle unmittelbar in der Lichtquelle, aber durch einen Apparat, der ihm unter den angegebenen Fällen eine Drehung nach rechts oder links zu geben vermag, die sich auf die Gesichtslinie wie auf eine Schraubenaxe bezieht. Diese Drehung wird wohl auch durch nichts Anderes hervorgebracht, als durch die Spiegelung an den Schichtungsflächen der Krystall-Atome mit den Lichtätherlagen, in welchen die Fortpflanzung der Schwingungen stattfindet.

Noch einen Schritt weiter, und die Lichtätherachwingungen zur Hervorbringung eines Bildes überhaupt, würden sich als innere Reflexionen in den nach allen Richtungen in Spiegelflächen geordneten Lichtäthertheilchen darstellen, deren Durchschnittslinie die Seaxe ist.

In den oben angeführten Mittheilungen in Poggen-

dorff's Annalen ¹⁾ erwähnte ich auch der *Spiegelprismen*, dreiseitiger Glasprismen, durch welche hindurch parallel einer der Flächen hinblickend, zunächst derselben und durch totale Reflexion entstanden, man ein Spiegelbild des Gegenstandes erhält, welchen man durch das Prisma betrachtet, und parallelisirte die Erscheinung des beim Umdrehen um die Sehaxe erfolgenden Drehens der Spiegelbilder mit dem Drehen der Büschel durch kreuzweise polarisirte Krystallplatten. Diefs ist allerdings richtig, die Spiegelprismen drehen die Bilder, wie die kreuzweise polarisirten Krystallplatten die Büschel, aber sie wirken ganz anders auf die Büschel selbst. Während sich bei festgestellten Spiegelprismen das Bild des um einen gewissen Winkel α nach einer Richtung, z. B. nach links, gedrehten Gegenstandes um denselben Winkel α nach rechts bewegt, bewegt sich der Büschel um den ganzen gleichen Winkel α aber nach links, so dafs die Lage desselben, verglichen mit dem ursprünglichen Gegenstande, unverändert erscheint, während er verglichen mit dem Gegenstande eine doppelte Winkelbewegung gemacht hat, von welcher aber die eine Hälfte der andern entgegengesetzt ist, und sie also aufhebt.

Durch die totale Reflexion an der Längsfläche des Spiegelprismas erhält nämlich, ähnlich einigermassen dem Vorgange bei dem Fresnel'schen Prisma, die Erscheinung die Lage des Spiegelbildes von derjenigen, in welcher der Körper durch die Spiegelung selbst erscheint.

Mit dem Büschel übereinstimmend, bleibt die Polarisationsrichtung unverändert. Es ist in der That überraschend zu sehen, wie das Bild eines Turmalinkrystalles durch Drehung links hinter einem Spiegelprisma, rechts herumgeführt werden kann, während sich die Polarisationsrichtung unverändert der ersten Quelle entsprechend erhält, und daher in allen möglichen Richtungen von dem Bilde des Krystalles abweichend festgehalten werden kann.

Bei einfachen Spiegelprismen ist jede Drehung derselben, oder des Gegenstandes, mit einer Winkelbewegung des

1) Bd. 63, S. 29 und Bd. 68, S. 305.

letztern verbunden. Combinirt man zwei derselben, so wird durch die doppelte Spiegelung auch das Bild selbst wieder unbeweglich, man mag die beiden Spiegelprismen mit einander wie immer herumdrehen, aber das Bild besitzt selbst jede beliebige feste Lage in Beziehung auf den ursprünglichen Gegenstand.

Alle diese mannigfaltigen Lagen berühren eigentlich, wie man sieht, die Natur der Büschel nicht. Aber man muß überall das Ergebniss der Spiegelung von der Wirkung der ersten Polarisation getrennt betrachten, obwohl sie die Eindrücke gemeinschaftlich hervorbringen. Gewiss wird durch das Auslöschen des in einer Richtung linear-polarisirten Lichtstrahls vermittelt einer senkrecht auf dieselbe polarisirte Platte durch Uebereinanderlagerung der gelben und blauen Beugungssäume die Ansicht, daß die Beugungssäume es sind, welche die Farben der Büschel hervorbringen, auf das Kräftigste unterstützt.

Nachschrift.

Spiegelprismen, wie die oben erwähnten, sind bekanntlich von Hrn. Prof. Dove zur Umdrehung der Bilder für stereoskopische Apparate verwendet worden, so wie er auch die Combination zweier derselben als Reversionsprisma beschrieb (Pogg. Ann. 1851, Bd. 83, 83. S. 183 und 189). Hr. Abbé Moigno nahm später die Construction des letzteren für Hrn. Porro in Anspruch (Cosmos 1852, T. 2, p. 224). Doch unterscheiden sich die zwei Anwendungsarten dadurch, daß bei Dove die Hypothenusenflächen der Prismen der Sehaxe parallel sind, bei Porro aber senkrecht auf derselben stehen. Wohl trägt übrigens auch die Anwendung von Hrn. Prof. Steinheil's Passagenprisma für das einfache Spiegelprisma, und Hrn. Prof. Purkinje's Studien der Combination beider, wie ich es bei meiner früheren Mittheilung (diese Annalen 1846, Bd. 68, S. 314) nach den Angaben des Hrn. Plössl erwähnte, einen Theil

der Priorität davon. Das Passagenprisma wurde von Steinheil zuerst in dem Münchener Kunst- und Gewerbeblatte beschrieben, Hr. Director v. Littrow gab die Beschreibung desselben und der durch Plöfsl ausgeführten Form in seinem »Kalender für alle Stände für das Jahr 1847.« In dem Jahrgange für 1845 war das Deut'sche Dipleidokop beschrieben, dessen drei Glasplatten wenigstens an ein solches Prisma erinnern. Ich verdanke die Kenntniß dieser Nachweisungen Hrn. Regierungsrath v. Ettingshausen.

Ich freute mich die ausführliche Zusammenstellung von Dove's Arbeiten, auf welche mein hochverehrter Freund Poggendorff noch während seines vorjährigen Aufenthaltes in Wien hingewiesen hatte, mit den so anschaulichen Abbildungen in dessen neuem Werke »Darstellung der Farbenlehre und optische Studien« zu finden. Von der allergrößten Wichtigkeit, und namentlich auch ganz in Uebereinstimmung mit dem Inhalte der voranstehenden Betrachtungen, erschienen mir Hrn. Prof. Dove's Ansichten in Hinsicht des Glanzes. »Unter allen Fällen, wo eine Fläche glänzend erscheint ist es immer eine spiegelnde durchsichtige oder durchscheinende Schicht von geringer Mächtigkeit, durch welche man hindurch einen andern Körper betrachtet. Es ist also äußerlich gespiegeltes Licht in Verbindung mit innerlich gespiegeltem oder zerstreutem, aus deren Zusammenwirkung die Vorstellung des Glanzes entsteht« (Darstellung u. s. w. 1853, S. 177. Ueber die Ursachen des Glanzes u. s. w. Pogg. Ann. 1851, Bd. 83, S. 169). Jedes letzte Körpertheilchen ist je nach seiner Brech- und Absorptionskraft von verschiedenen beschaffenen Lichtäthersphären umgeben, die seine Sichtbarkeit überhaupt vermitteln, ebenso jedes kleinere oder größere, in sich aus ungleichartigen Theilchen bestehende Molecul, oder gleichartige Aggregat. Uebene, rauhe Oberfläche zeigt genugsam den Unterschied metallischen oder nichtmetallischen Ansehens, wenn sie nur nicht vollständig matt ist, aber das Auge ist sich der Natur der Lichtätherhülle der

zu äusserst liegenden Theilchen bewusst, ohne dass man eigentlich optische Mittel besitzt, den Unterschied anders als eben durch das Ansehen zu prüfen. Anders wird es, je mehr eine Fläche an Ebenheit gewinnt, und die kleinern und kleinen Hervorragungen durch mechanische Mittel ausgeglichen werden. Der Körper wird *glänzend*, immer vollkommener und vollkommen bis man ihn, je nach seiner Natur, gar nicht mehr sieht, sondern nur das Bild der Gegenstände, das er zurückwirft. Wirft dieß aber der Körper selbst zurück? Nein, gewiss nicht, sondern die Lichtätherschicht, die ihn untrennbar umgiebt, die je regelmässiger sie in einer Ebene fortsetzt, um so geeigneter ist, den bis zu ihr gelangten Lichtwellen plötzlich die veränderte Richtung zu geben. Ist der Körper nicht metallisch, so zeigt sich nur unter den entsprechenden Bedingungen die mehr oder weniger vollständige lineare Polarisation in der Einfallsebene und senkrecht darauf in der Fortpflanzungsrichtung der Schwingungen geordnet. Eigentlich kann die Polarisation bei den am vollkommensten polarisirenden Körpern nur ein Maximum werden, sie ist mehr und mehr elliptisch bei den Körpern von metallischem Ansehen. Die Gränze ist innere totale Reflexion. Man sieht den Körper nicht mehr, im Glasprisma, wie in der Luftspiegelung. Aber es kommt noch aus andern Quellen gleichzeitig gewöhnliches oder polarisirtes Licht in das Auge; so die eigenthümliche Farbe der Körper, gewöhnliches durch den im Körper selbst vertheilten Lichtäther vermittelt, die von Hrn. Prof. Stokes so trefflich charakterisirte und untersuchte Fluorescenz, das Aufleuchten gewisser Körper vorzüglich in den jenseits der brechbarsten liegenden Strahlen des Prismas, die Oberflächenfarben, den metallischen verwandt, aber durch ihre feste Polarisation in vielen Fällen so merkwürdig und unabhängig. Sie geben alle einen Gesamteindruck, den man doch nicht hinlänglich in seine Componenten in der Untersuchung durch analysirende Vorrichtungen zu trennen vermag. Zwei gekreuzte Nicol'sche Prismen löschen Alles

aus. Der Glanz selbst, als »ein Beiwerk« (Darstellung u. s. w. S. 178), läßt sich gewiß sehr überzeugend nach dem Vorgange Dove's mit einer durchsichtigen Schicht vergleichen, die auf der Oberfläche des Körpers ruht. Das katoptrische Weiß wirkt im Stereoskop einfach wie ein helles Lichtfeld. Die Lichtätherschicht des Glanzes stellt die Verbindung her zwischen den der Fortpflanzungsrichtung entlang nach allen Azimuthen geordneten Schichten, zwischen dem gespiegelten Gegenstand und dem Auge, jenseits und diesseits des spiegelnden Körpers. Hr. Prof. Dove's Versuch im Stereoskop überträgt das von dem einen Auge direct gesehene Bild der begränzten durchsichtigen Fläche mit allen Eigenschaften auf das der Form nach ebenfalls begränzte dunkle Bild im andern Auge, und combinirt dergestalt Körper und Durchsichtigkeit zu Glanz. Man kann selbst ein Spiegelbild auf die Fläche bringen, aber es ist nur ein direct gesehenes, kein durch dieselbe verkehrtes. H.

VIII. *Ueber einige Stellen der Schrift von Helmholtz „über die Erhaltung der Kraft“, zweite Notiz; von R. Clausius.*

Durch die im Februarhefte (S. 241 dieses Bandes) erschienene Erwiderung des Herrn Helmholtz bin ich genöthigt, noch einmal auf meine früher (B. 89, S. 568) mitgetheilten Auseinandersetzungen zurückzukommen, glaube mich aber diesmal auf einige kurze Bemerkungen beschränken zu können.

Zunächst sagt Helmholtz, meine Angabe, daß er die bei der Aenderung des Potentials einer Masse auf sich selbst gethane Arbeit doppelt gerechnet habe, beruhe auf einem vollständigen Mißverständniß dessen, was er gemeint und

ausgesprochen habe, und beruft sich dazu auf das Resultat der auf S. 40 seiner Schrift befindlichen mathematischen Entwicklung. Es ist aber nicht dieses Resultat, sondern die Art, wie er zu demselben gelangt ist, worauf sich meine Behauptung bezieht, indem ich gesagt habe, daß seine Entwicklung nur durch den zufälligen Umstand, daß er sich auf die Betrachtung eines sehr einfachen speciellen Falles beschränkt hat, wobei sich zwei einzeln nachweisbare, aber in entgegengesetztem Sinne wirkende Fehler aufgehoben haben, zu einem richtigen Resultate geführt hat. Ich habe gezeigt, daß, wenn man genau dieselbe Entwicklung auf einen etwas allgemeineren Fall anwendet, man ein falsches Resultat erhält, und muß es nun den Lesern seiner Schrift und meiner Bemerkungen überlassen, darüber zu entscheiden, ob man jene Entwicklung bei der sorgfältigsten Prüfung anders auffassen kann, als ich es gethan habe.

Der zweite Differenzpunkt bezog sich auf den Satz, welchen Vorsselman de Heer aus den Versuchen von Riefs geschlossen hat, nämlich *daß die Gesamtwärme welche durch eine elektrische Entladung in dem ganzen Schließungsbogen erregt wird, von der Natur des Schließungsbogens unabhängig sey*. Diese Differenz ist jetzt dadurch ausgeglichen, oder wenigstens auf untergeordnete Fragen über quantitative Verhältnisse zurückgeführt, daß Helmholtz die ursprüngliche Form, in welcher der Satz von Vorsselman de Heer aufgestellt ist, und gegen welche meine Einwürfe gerichtet sind, in seiner Erwiderung verbessert hat. Er beschränkt nämlich jetzt die angenäherte Richtigkeit des von Vorsselman de Heer allgemein ausgesprochenen Satzes auf solche Fälle, in denen der Schließungsbogen eine große reducirte Länge hat. Für die Fälle dagegen, wo dieses nicht stattfindet, zieht er aus der Riefs'schen Formel, selbst soweit diese als mathematisch genau angenommen wird, nur den Schluss, daß die mechanische Wirkung des Funkens, sowie die innerhalb der Batterie und auf dem Ableitungszweige stattfindenden Wirkungen ebenfalls dem in der Formel ausgedrückten Ge-

setze folgen müssen, d. h. daß diese Wirkungen ihren GröÙe nach, durch die nach der Formel berechnete Erwärmung eines zu dem vorhandenen Schließungsbogen noch hinzugedachten Leiters von einer gewissen reducirten Länge dargestellt werden können, während Vorsselman de Heer diese Wirkungen überhaupt unberücksichtigt gelassen hat, und nur von der wirklich in dem vorhandenen Schließungsbogen erzeugten Wärme spricht. Hätte Helmholtz jene Beschränkung und diese Modification gleich bei seiner ersten Erwähnung des Satzes hinzugefügt, so würde ich zu meinem Widerspruche keine Veranlassung gehabt haben.

Der dritte Differenzpunkt endlich bezieht sich auf die Frage, ob aus dem bloßen Principe von der Erhaltung der lebendigen Kräfte schon mit mathematischer Strenge bewiesen werden kann, daß alle wirksamen Kräfte sich in Centralkräfte zerlegen lassen müssen. Ich habe gesagt, daß Helmholtz in seinem Beweise aufser jenem Principe noch eine andere Annahme zu Hülfe genommen habe, und Helmholtz sagt nun dagegen, daß diese andere Annahme selbst auch eine Folge des Principes in der Fassung, welche er ihm gegeben hat, sey. Während man nämlich das Princip sonst gewöhnlich so ausspricht, *daß die Summe aller lebendigen Kräfte zu allen Zeiten dieselbe ist, in welchen alle betrachteten Punkte dieselbe Lage haben*, hat er von der *relativen Lage* gesprochen, und aus diesem Begriffe leitet er nun jene Annahme ab. Indessen muß ich auch hier bemerken, daß nicht nur diese Ableitung in seiner Schrift nicht vorkommt, sondern daß auch die dortige Fassung des Principes nicht der Art ist, daß der Leser daraus Veranlassung nehmen konnte die Ableitung selbst hinzuzufügen. Während Helmholtz nämlich in der Erwiederung nur von gegenseitigen Einwirkungen der beweglichen Massen auf einander spricht, ist dort auch noch von anderen, von festen Centren ausgehenden Einwirkungen die Rede, und die relative Lage bezieht sich daher dort nicht bloß auf die beweglichen Massen unter sich, sondern auch auf die festen Centren. Dadurch verliert

natürlich das Wort »relativ« an Bedeutung, und kann sogar ganz illusorisch werden, denn durch die relative Lage eines Punktes zu drei oder mehreren im Raume festen Centren ist zugleich auch seine *absolute* Lage bestimmt. Man konnte daher in diesem Zusammenhange nicht gut auf den Gedanken kommen, auf das Wort »relativ« ein besonderes Gewicht zu legen, und es als die Grundlage der weiteren Schlüsse zu betrachten.

Was übrigens die Sache selbst, nämlich die Zerlegbarkeit aller Naturkräfte in Centralkräfte anbetrifft, so will ich zur Vermeidung von Mißverständnissen hier noch einmal daran erinnern, daß ich meinen Einwurf gegen die von Helmholtz angestellte Betrachtung mit den Worten »wenn wir von ihrer physikalischen Wahrscheinlichkeit, welche ich durchaus nicht bestreite, hier ganz absehen, und nur ihre mathematische Nothwendigkeit ins Auge fassen«, eingeleitet habe.

Am Schlusse seiner Erwiderung sagt Herr Helmholtz, daß er mir, da ich eine Arbeit über Elektrodynamik angekündigt habe, durch die Veröffentlichung seiner eigenen weiteren Arbeiten hierüber nicht vorgreifen wolle, und theilt daher nur die Resultate derselben mit. In dieser Beziehung möchte ich ihn aber ersuchen, eine solche Rücksicht nicht zu nehmen, denn einestheils habe ich den Abschluß meiner Arbeit nicht als nahe bevorstehend angekündigt, und habe sie gegenwärtig sogar seit längerer Zeit wegen anderer Beschäftigungen ganz bei Seite legen müssen, ohne zu wissen, wann ich sie wieder werde vornehmen können, und anderentheils glaube ich, daß Herr Helmholtz, welcher selbst für die neue, auch hierbei angewandte theoretische Betrachtungsweise zuerst die Bahn gebrochen hat, überhaupt keinen Grund hat, um irgend eines Anderen willen die Veröffentlichung seiner eigenen Arbeiten zu verzögern.

IX. *Ueber Höhlungen im Bernstein mit Gasen und Flüssigkeiten; von Sir David Brewster.*

(*Phil. Mag. Ser. IV. Vol. V. p. 233.*)

Da ich neulich Gelegenheit hatte, eine große Zahl von Diamanten zu untersuchen, und dabei in den meisten von ihnen Höhlungen von verschiedener Gestalt entdeckte, ringsum welche, vermöge der Ausdehnung des darin enthaltenen Gases, die Diamantsubstanz, als sie noch weich war, zusammengepreßt worden, war ich begierig die Untersuchung einiger Stücke Bernstein, in welchen ich dieselben Erscheinungen beobachtet hatte, sowie anderer, die diese gleichfalls zeigten, wiederum vorzunehmen.

Im Allgemeinen waren die Höhlungen im Diamant äußerst unregelmäßig, und gleiches galt daher auch von den polarisirten Lichtsectoren und dem schwarzen Kreuz, welches sie trennte. Im Bernstein dagegen hatten die meisten der Höhlungen eine genau sphärische Gestalt, und die polarisirende Structur, welche sie umgab, war ungemein vollkommen und schön. Ich fand jedoch auch viele mikroskopische Höhlungen, welche sehr unregelmäßig waren, und wie die von derselben Kleinheit im Diamant, regelmäßige Ssectoren von polarisirtem Lichte gaben. Ich fand außerdem solche Höhlungen in Gruppen von zwölf bis funfzehn.

In einem Stücke Bernstein, welches sphärische Höhlungen von verschiedener Größe und ringsum dieselben die polarisirende Structur zeigte, beobachtete ich dicht neben ihnen mehre andere Höhlungen ohne die geringste Spur einer solchen Structur. Die Circumferenz der letzteren war incrustirt mit einer Art röthlichen Pulvers, welches wahrscheinlich von einer durch Absorption weggenommenen Flüssigkeit abgelagert worden war.

In meinem zweiten Aufsatz: »Ueber das Brechungsvermögen zweier neuen Flüssigkeiten in Mineralien« erwähnte ich einiger, mir von dem verstorbenen William Nicol

gezeigten Bernsteinstücke, in welchen einige der Höhlungen auf der Innenfläche rauh waren, wie fein gesmirkeltes Glas, und eine Flüssigkeit mit einer beweglichen Vacuität enthielten ¹⁾). Bei nachheriger Untersuchung eines dieser Stücke fand ich die scheinbare Rauheit dieser Höhlung daraus entsprungen, daß ihre Oberfläche mit kleinen, einander parallelen Streifen bedeckt war. Einige der Höhlungen in diesem Stücke waren sehr unregelmässig, andere dagegen vollkommen sphärisch; die letzteren waren *ganz gefüllt* mit einer Flüssigkeit, was sich zeigte, wenn man die Refraction an ihren Gränzen verglich mit der Refraction an den Gränzen anderer Höhlungen, in welche die darin enthaltene Flüssigkeit einen leeren Raum liefs. Hr. Nicol war der Meinung, daß sich in einigen derselben der leere Raum vergrößert hatte, was nur aus der Absorption der Flüssigkeit durch den Bernstein entstanden seyn könnte.

Ein schönes Stück Bernstein, in der Sammlung des verstorbenen Hrn. Witham von Larkington, welches ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, enthielt ungefähr acht sphärische Höhlungen wie Kügelchen, alle sehr dicht aneinander und einige so nahe in Berührung, daß sie nur durch ein sehr dünnes Häutchen Bernstein getrennt waren. Die Flüssigkeit, welche sie enthielten, war eine heterogene dunkel gelblich-braune. Eine dieser Höhlungen öffnete ich in Gegenwart des verstorbenen Dr. Edward Turner und des Hrn. Witham, und nahm die Flüssigkeit heraus, die uns Allen nach Rufs schmeckte. Auf eine Glasplatte gebracht, konnte sie ausgezogen werden wie Firnis oder die Glasflüssigkeit des Auges. Getrocknet hinterliefs sie eine durchscheinende Masse wie Bernstein. Die Substanz besafs keine Doppelbrechung. Vor dem Löthrohr erhitzt, nahm sie eine schön orangen-rothe Farbe an. Sie brannte nicht, sondern wurde bei fortgesetztem Erhitzen schwarz und verschwand.

Ein sehr schönes, dem verstorbenen W. G. Thomson gehörendes Stück Bernstein von der Gestalt der Fig. 10

1) *Edinb. Transact. Vol. X. p. 424.*

Taf. III: enthielt eine große längliche Höhlung *ab*, in der eine Flüssigkeit mit concaver Oberfläche bis *mn* reichte. Die Flüssigkeit war so träge und wahrscheinlich zähe, daß man bei kaltem Wetter, nach Umkehrung des Stückes, stoßen mußte, um sie nach dem Ende *a* zu bringen; bei warmen Wetter (60° F.) bewegte sie sich aber mit großer Leichtigkeit. Das Ende *b* der Höhlung war der Oberfläche des Stückes so nahe, daß ich nicht wagte, die Flüssigkeit zu erhitzen, aus Furcht, die Höhlung möchte bersten. Ich fand jedoch, daß die Flüssigkeit nicht sehr ausdehnbar durch Wärme war, jedoch so verdampfbar, daß die Seiten der Höhlungen sich mit Dunst beschlugen, deren Theilchen oder Kügelchen etwa 0,01 Zoll im Durchmesser enthielten.

X. *Ueber eine merkwürdige mit Flüssigkeit gefüllte Höhlung im Topas; von Sir David Brewster.*

(*Phil. Magaz. Ser. IV. Vol. V. p. 235.*)

Die merkwürdige Höhlung im Topas, welche ich hier beschreiben will, ist in Fig. 11, Taf. III abgebildet. Sie ist von sehr unregelmäßiger Gestalt; ihre größte Länge *AB* beträgt 0,18 Zoll, ihre größte Breite *CD* 0,10 Zoll. Sie ist gefüllt mit einer Flüssigkeit, die einen großen Raum *V* leer läßt. Die Flüssigkeit dehnt sich nicht durch Wärme aus, und ist daher ganz verschieden von jeder der beiden neuen Flüssigkeiten, die ich im Topas und in anderen Mineralen entdeckte. Die Leere *V* verändert, wenn der Krystall in verschiedene Stellungen gebracht wird, ihren Ort nicht; allein durch einen heftigen Ruck kann sie von einem Ende der Höhlung zum andern gebracht, und selbst in mehrere Leeren zertheilt werden. Nach der ungemeinen Trägheit ihrer Bewegung ist es sehr wahrscheinlich, daß sie

einen bedeutenden Grad von Zähigkeit hat. Auch läßt aus der Brechung des Lichts durch die Bruchfläche eines der Krystalle in der Höhlung schliessen, daß die Flüssigkeit ein niedriges Brechungsvermögen besitzt.

Die Höhlung enthält, wie aus der Figur zu ersehen, mehrere Krystalle. Einige derselben haben vollkommen ausgebildete und glänzende Flächen, und sind dabei ganz durchsichtig; alle sind beweglich, und sinken, bei Umkehrung des Stücks, rasch durch die Flüssigkeit. Einer der beweglichen Krystalle, bei *a* zu sehen, besteht aus einer Gruppe kleinerer. Die anderen durchsichtigen Krystalle sieht man bei *b*, *c* und *d*. Drei kleine schwarze Fragmente sieht man bei 1, 2 und 3. Diese letzteren sinken mit viel geringerer Geschwindigkeit durch die Flüssigkeit und haben daher ein kleineres specifisches Gewicht. Die Flüssigkeit ist nicht ganz durchsichtig, sondern hat in schwachem Grade ein milchiges Ansehen. Sie enthält einen guten Theil dunkler Flocken, welche in der Flüssigkeit mit einer eben wahrnehmbaren Bewegung herabsinken. Die Wände der Höhlung sind mit einer Art pulverigen Absatzes oder dünner Kruste bekleidet. Während einige der schwarzen Fragmente, wie schon erwähnt, langsam in der Flüssigkeit *herabsinken*, *steigen* andere, was ich in den vielen hundert Topas-Höhlungen, die ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, niemals beobachtet habe. Die milchige Farbe der Flüssigkeit, die flockige Materie und die pulverige Kruste im Beiseyn der Flüssigkeit, sind Thatsachen, die ich nie zuvor wahrgenommen habe.

XI. *Resultate zweijähriger Beobachtungen über Luft-Elektricität; von F. Dellmann.*

Die im Dienste des Königl. Preufs. meteorolog. Instituts seit zwei Jahren auf der hiesigen Station angestellten Beob-

ach-

achtungen über Luft-Elektricität haben das unter *C* verzeichnete Resultat geliefert. Bekanntlich sind die vom gedachten Institut vorgeschriebenen Beobachtungsstunden Morgens 6^h, Nachmittags 2^h, Abends 10^h. Obgleich die Instruction keine Vorschriften für elektrische Beobachtungen giebt, wurde es doch für zweckmäßig gehalten, auch für diese Beobachtungen die bemerkten Stunden zu wählen, besonders deshalb, um den Gang der Luft-Elektricität beständig mit dem Gange der andern meteorologischen Erscheinungen vergleichen zu können. Die zweijährigen Resultate möchten wohl geeignet seyn, darzuthun, daß diese Beobachtungsstunden auch für elektrische Beobachtungen sehr passend gewählt sind.

Die Einheit bei den nachfolgenden Zahlen ist die Spannung eines Elementes einer Zink-Kupfer-Säule. Die gebrauchten Apparate, das Beobachtungs- und Berechnungsverfahren sind beschrieben in Bd. 89, S. 258 ff. dieser Annalen.

Die Mittel des Jahres 1853 sind:

	A.			
	6 ^h	2 ^h	10 ^h	Mittel.
Januar	189,5	197,6	187,3	191,5
Februar	154,3	219,6	188,9	187,6
März	145,2	154,7	152,7	150,9
April	149,6	129,2	122,3	133,7
Mai	147,4	86,7	108,6	114,2
Juni	141,2	99,9	127,6	122,9
Juli	135,4	96,2	142,4	124,7
August	153,6	100,7	138,2	130,8
September	156,7	121,0	149,5	142,4
October	188,0	172,9	209,6	190,2
November	162,6	187,5	167,6	172,6
December	194,0	283,5	222,1	233,2
Mittel:	159,8	154,1	159,7	157,9.

Zur Vergleichung mögen auch die Mittel vom Jahre 1852 hier stehen. Sie sind:

B.

	6 ^h	2 ^h	10 ^h	Mittel.
Januar	109,3	242,4	156,9	169,5
Februar	118,5	151,0	156,7	140,4
März	127,2	162,2	162,3	150,6
April	137,2	140,3	107,7	128,4
Mai	160,7	79,7	101,8	114,1
Juni	140,2	94,2	122,9	119,1
Juli	135,9	105,0	115,3	118,7
August	161,6	127,6	158,6	149,3
September	173,2	142,7	146,4	154,1
October	150,4	169,0	169,8	163,1
November	229,8	217,8	230,9	226,2
December	188,6	278,1	220,8	229,2
Mittel:	152,3	159,2	154,2	155,2

Daraus ergeben sich als zweijährige Mittel:

C.

	6 ^h	2 ^h	10 ^h	Mittel.
Januar	149,4	220,0	172,1	180,5
Februar	133,9	185,3	172,8	164,0
März	136,2	158,5	157,5	150,7
April	143,4	134,8	115,0	131,1
Mai	154,1	83,2	105,2	114,2
Juni	140,7	97,1	125,3	121,0
Juli	135,7	100,6	128,9	121,7
August	157,6	114,2	148,4	140,1
September	165,0	131,9	148,0	148,3
October	169,2	171,0	189,7	176,6
November	196,2	202,7	199,3	199,4
December	191,3	280,8	221,5	231,2
Mittel:	156,1	156,7	157,0	156,6

Kreuznach, im Januar 1854.

XII. Ueber die Dauer des Lichteindrucks; von Dr. H Emsmann zu Stettin.

Ueber die Dauer des Lichteindrucks im Auge finden wir verschiedene Angaben:

Newton, welcher ¹⁾ den durch eine schnell geschwungene glühende Kohle erzeugten Lichtkreis aus dem eine Zeitlang dauernden Eindrucke des Lichts richtig erklärt, schätzt die Dauer dieses Eindrucks auf 1 Sekunde ²⁾.

d'Arcy ³⁾ giebt die Dauer des durch eine glühende Kohle hervorgebrachten Lichteindrucks in Folge von hierüber angestellten Experimenten auf 8 Terzien = 0,133 Sekunden an, und Thomas Young ⁴⁾ setzt, ohne jedoch Versuche anzuführen, die Dauer der Lichteindrücke auf die Netzhaut zu 0,01 bis 0,5 Sek. fest.

Am sorgfältigsten hat Plateau ⁵⁾ über den in Rede stehenden Gegenstand experimentirt, indem er zugleich bemüht war, die Fehlerquellen zu vermeiden, welche mit d'Arcy's Verfahren, welches er adoptirte, verbunden waren. Indessen so sorgfältig auch Plateau verfahren ist, gesteht er doch selbst (S. 310), daß die Resultate, welche er erhielt, nur als Annäherungen betrachtet werden können. Er sagt: »Sie sind mit zu vielen Fehlerquellen umgeben, und aus einer zu geringen Zahl von Versuchen abgeleitet, als daß sie ganz richtig seyn könnten.« Ferner (S. 317): »Vielleicht findet man auch eine neue und strengere Methode zur Messung der Gesamtdauer der Lichteindrücke auf.«

Diese Erklärungen Plateau's bestimmen mich, meine

1) *Optices lib. I. pars II. propos. V. exper. X.*

2) *A. a. O. lib. III. quaest. XVI.*

3) *Memoire sur la durée de la sensation de la vue* in der *Hist. de l'Acad.* 1765.

4) *A Course of lectures on natural philosoph. T. I. p. 455.*

5) *Poggend. Ann. Bd. XX. S. 304 — 332.*

Resultate mitzutheilen, die, durch eine andere Methode gewonnen, zwar etwas abweichen, indessen andererseits auch wieder zur Bestätigung dessen dienen, was dieser Physiker gefunden hat.

Plateau bediente sich, wie d'Arcy, eines Instrumentes, welches aus einem Systeme von verticalen Rädern bestand, die so von Gewichten in Bewegung gesetzt wurden, daß das letzte Rad eine beträchtliche Geschwindigkeit erlangen konnte, während die des Rades mit dem Gewichte nur sehr gering war. Die Axe jenes Rades trug einen Zeiger mit einer Pincette am Ende, bestimmt die Gegenstände zu halten. Durch Vermehrung oder Verminderung der Gewichte konnte man dem Zeiger alle möglichen Grade von Geschwindigkeit ertheilen, und seine Bewegung, die in den ersten Augenblicken eine beschleunigte war, wurde nach einigen Minuten gleichförmig, weil die Reibung und andere Widerstände mit der Geschwindigkeit wuchsen, und endlich die von der Schwerkraft bewirkte Beschleunigung zerstörten. Das Instrument war überdies, zur Regulirung seines Ganges, mit einem Windfange versehen, und der ganze Apparat wurde in der Höhe des Auges in einiger Entfernung dem Fenster gegenüber aufgestellt. Da das Ende des Zeigers einen Kreisumfang beschrieb, und alle wünschenswerthen Grade von Geschwindigkeit erlangen konnte, so befand sich der farbige Gegenstand unter den erforderlichen Bedingungen. Die Objecte bestanden in gefärbte Papierstreifen, begränzt durch zwei Kreisbogen, die ihre Mittelpunkte auf der Axe des Zeigers hatten, und durch zwei Radien, die einen rechten Winkel miteinander bildeten.

Als Resultat aus sechs Versuchsreihen erhielt Plateau für die Dauer eines Eindrucks folgende Bestimmungen nach Sexagesimalsekunden:

Weiß	Gelb	Roth	Blau
0,35	0,35	0,34	0,32,

woraus hervorgeht, daß das Weiß und Gelb die dauernd-

sten Eindrücke hervorbringen, daß dann das Roth und endlich das Blau folgt.

Der Apparat, dessen ich mich bediente, ist ein Räderwerk, ursprünglich bestimmt die verschiedenen Räderarten in ihrem Ineinandergreifen und in ihrer Anwendung zur Anschauung zu bringen, aber sehr bequem für leichte Gegenstände als Schwungmaschine brauchbar, z. B. zur Darstellung subjectiver Farbenerscheinungen. Wegen der Zusammensetzung verweise ich auf: Physikalische Aufgaben, von Emsmann 1852, S. 55, Aufg. 20. Der Apparat läßt sich durch eine Kurbel sehr leicht drehen, und dann macht das letzte Rad bei einer Kurbelumdrehung 30 oder 60 Umdrehungen, je nach der Axe, an welcher man die Kurbel ansetzt. Auf der verticalen Axe des letzten Rades befestige ich durch eine Röhre mittelst einer durch einen Schlitz derselben gehenden Schraube eine kreisförmige, messingene Scheibe, die in ihrem Centrum, welches mit dem der Radaxe zusammenfällt, einen etwa einen Zoll langen Stift trägt, auf welchen eine kleine Schraubenmutter befestigt werden kann. Unter der Scheibe habe ich an der Röhre, mit welcher dieselbe auf die Axe aufgesetzt wird, ein Sternrad von 100 Zähnen anbringen lassen und seitwärts an dem Gestelle einen Träger zur Aufnahme eines Streifens von einem Kartenblatte. Diefs Rad und diefs Kartenblatt wirken als Sirene, und aus dem Tone kann man sehr leicht erkennen, ob die Bewegung der Scheibe gleichförmig ist oder nicht.

Mit Hülfe einer Uhr, welche 74 Pendelschläge in einer Sekunde macht, bestimmte ich die Zeit, welche zu einer Kurbelumdrehung erforderlich ist.

Ueber ein quadratisches Stück Pappe, von 9 Zoll Seite wurde nun schwarzer Sammet gespannt und dieses Quadrat im Durchschnittspunkte seiner Diagonalen auf den oben angegebenen Stift gesetzt. Jetzt war der Apparat zu den Versuchen fertig.

Aus verschiedenen, gleichmäfsig gefärbten Papieren schnitt ich Rechtecke von 8 Zoll Länge und $4\frac{1}{2}$ Zoll Breite, der

gleichen von 8 Zoll Länge und 3 Zoll Breite, befestigte je eins derselben in dem Durchschnittspunkte der Diagonalen auf demselben Stifte und zog die Schraube an, so daß das Papier auf dem Sammet auflag. Wurde nun die Maschine in Bewegung gesetzt, so zeigte sich bei einer gewissen Geschwindigkeit eine Kreisfläche von der Farbe des Papiers, im Durchmesser gleich der Entfernung der beiden längsten Rechtecksseiten, umgeben von einer ebenso gefärbten Kreislinie, im Durchmesser gleich der Entfernung der beiden kurzen Rechtecksseiten, und außerdem umgab jene Kreisfläche ein durchscheinender, zackiger Schleier, welcher noch über die bezeichnete Kreislinie hinausging, so daß die Spitzen der Zacken auf der Peripherie eines Kreises lagen, dessen Halbmesser gleich der halben Diagonale des Rechtecks war. Die Zwischenräume der Zacken erschienen bogenförmig begränzt. War die Umdrehungsgeschwindigkeit noch nicht groß genug, so bildete sich die Kreisfläche nicht und die spitzen Zacken waren nicht wahrzunehmen; war die Kreisfläche entstanden und nahm die Geschwindigkeit ab, so verlor sich die Form des Kreises.

Durch mehrfach angestellte Versuche überzeuete ich mich zunächst, daß die Bildung der Kreisfläche bei weisem Papiere eine bestimmte, meßbare Geschwindigkeit verlangte, und dieß veranlaßte mich vergleichende Versuche mit gefärbten Papieren auszuführen. In der Sirene hatte ich das Mittel, die Geschwindigkeit, welche wenigstens erforderlich war, zu controliren, und bei der Leichtigkeit, mit welcher der Apparat sich drehen ließ, konnte diese Geschwindigkeit beliebig lange erhalten werden. Die Zeit für eine Kurbelumdrehung ergab sich durch Zählen der Pendelschläge, und der dreißigste Theil dieser Zeit war die Zeit zu einmaliger Umdrehung der Scheibe und des Blattes. Die Hälfte dieser Zeit ist das Maas für die Dauer des Lichteindrucks; denn es sind die beiden Punkte, welche in der Mitte der kurzen Rechtecksseiten liegen, die Erzeuger der die Kreisfläche umgebenden Kreislinie, und

es sind die beiden vom Centrum auf die langen Seiten gefällten Perpendikel die Erzeuger der Kreisfläche. Um ganz sicher zu gehen, wurde die Zeit bestimmt, bei welcher die Kreisfläche noch nicht rein hervortrat; die geringe Differenz zwischen dieser und der gesuchten Zeit ergab, daß die Zeitbestimmung Vertrauen verdiente.

Die Versuche wurden angestellt *a)* bei Tage sowohl bei bewölktem, als ganz heiterem Himmel; im letzteren Falle sowohl im direct auffallenden, als nicht auffallenden Sonnenlichte, *b)* des Abends bei Beleuchtung durch eine Lampe mit doppeltem Luftzuge (sogenannte Schiebelampe). Die Versuche bei Tage ergaben in den Resultaten keine merkliche Verschiedenheit, wohl aber wichen die bei Tage und bei Lampenlichte wesentlich von einander ab. Die Resultate selbst waren folgende, wobei die Dauer des Lichtindrucks in Sekunden angegeben ist:

Bei Tage:

Dunkel-Blau	Gelb	Mittel-Grün	Dunkel-Grün	Weiß	Roth	Mittel-Blau
0,29	0,27	0,26	0,26	0,25	0,24	0,22

Bei Lampenlicht:

Dunkel-Blau	Dunkel-Grün	Gelb	Weiß	Roth	Mittel-Grün	Mittel-Blau
0,35	0,35	0,31	0,30	0,29	0,26	0,26

Im Allgemeinen erhalte ich also kleinere Zeitbestimmungen als Plateau; indessen glaube ich, daß die von mir gewonnenen zuverlässiger sind, da ich nie solche Differenzen für dieselbe Farbe erhielt, wie sich bei ihm ergaben. Die Reihefolge war nach Plateau: Weiß, Gelb, Roth, Blau; wie aus den Beobachtungsreihen desselben hervorgeht, er fand jedoch dreimal für Gelb eine größere Dauer als für Weiß, zweimal eine geringere und einmal für beide Farben dieselbe. Es ist mithin nach diesen Versuchen die Stellung des Gelb zweifelhaft. Nach meinen Resultaten ist die Reihefolge entschieden in Bezug auf diese vier Farben: Gelb, Weiß, Roth, Blau. Die Uebereinstimmung in Betreff des Roth und Blau im Verhältniß zu Weiß läßt wohl keinen Zweifel mehr zu über die Richtigkeit ihrer Stellung.

Die benutzten Farben waren aus Papierbogen geschnitten, wie man sie bei den Buchbindern findet, also glänzend. Um einen hiervon zu entnehmenden Einwand zu beseitigen, tuschte ich nach Plateau's Angabe Blätter mit Gummigutt, Carmin und Berlinerblau und erhielt mit ihnen folgende Resultate im Tageslichte:

Gelb	Weiss	Roth	Blau
0,25	0,25	0,22	0,21

Es ergab sich hier kein merklicher Unterschied zwischen Gelb und Weiss, ein Beweis für die Genauigkeit der Plateau'schen Beobachtung; aber die Dauer des Lichteindrucks ist durchweg kürzer geworden, woraus folgt, dass, wie zu erwarten war, der Lichteindruck durch den Glanz verstärkt wird.

Interessant ist das bei Lampenlicht gewonnene Resultat für Dunkelblau und Dunkelgrün, ebenso für Mittelblau und Mittelgrün, indem für die beiden dunklen Töne und ebenso für die beiden helleren sich eine gleiche Dauer des Eindrucks herausstellt. Gerade diese beiden Farben sind bei Lampenlicht nicht leicht zu unterscheiden, und dies mag also in der gleichen Dauer des Eindrucks seinen Grund haben. Dass die Dauer des Eindrucks bei Lampenlicht grösser ist, als bei Tageslicht, kommt jedenfalls daher, dass bei der Beleuchtung durch eine Lampe (wenigstens hatte ich keine andere Beleuchtung im Zimmer, als die eine Lampe) die Farbe gegen die wenig erleuchtete Umgebung mehr absticht, das Auge wohl auch in einem solchen Falle reizbarer ist für den Farbeindruck, weil die Umgebung eben einen weniger intensiven Eindruck macht.

In Betreff des schwarzen Hintergrundes, den auch Plateau von schwarzem Sammet wählte, bemerke ich noch, um die Nothwendigkeit desselben noch besonders hervorzuheben, dass, als ich ein weisses Papierblatt als Hintergrund benutzte, ich für alle Farben ohne Ausnahme dasselbe Resultat erhielt, und zwar die dem Weiss entsprechende Dauer des Eindrucks. Das Resultat rührte also von dem Lichte her, welches der Hintergrund reflectirte, und will man da-

her ein Resultat gewinnen, welches lediglich auf die der Untersuchung unterworfenen Farbe Bezug hat, so muß man den Hintergrund so wählen, daß von ihm keine störende Einwirkung zu erwarten ist, mithin schwarz.

Auf die Breite des farbigen Papiers kam es hierbei nicht an; ich benutzte jedoch die $4\frac{1}{2}$ Zoll breiten Streifen und die 3 Zoll breiten jedesmal zur Controle für einander.

Plateau knüpft an seine Untersuchung noch Beobachtungen an Scheiben mit zwölf schwarzen und zwölf gefärbten Feldern, von denen jedes $\frac{1}{12}$ der Kreisfläche einnahm. Für die Dauer eines Umlaufes, sobald ein gleichförmiger Farbenton hervorgebracht war, erhielt er (a. a. O. S. 313) folgende Resultate in Sekunden:

Weiße	Gelb	Roth	Blau
0,191	0,199	0,232	0,295

also gerade die umgekehrte Ordnung, wie in den vorhergehenden Versuchen. Er schloß daraus, daß der Eindruck des Blauen langsamer abnimmt als der des Rothen, dieser langsamer als der des Gelben und dieser wieder langsamer als der des Weißen.

Ich hielt es für wünschenswerth auch diese Versuche zu wiederholen, und verfertigte daher von den glänzenden Papieren Kreisflächen, in denen 12 Sektoren ausgeschnitten waren, die mit den stehengebliebenen gleiche Breite hatten. Diese Flächen wurden auf die Sammetfläche gelegt und die Umdrehungszeit ermittelt, welche nöthig war um eine gleichförmig gefärbte Fläche zu erzeugen. War die Umdrehungszeit nur etwas geringer, so konnte ich Unterbrechungen bemerken. Den letzteren Umstand hebe ich hervor, weil ich bedeutende Abweichungen gegen Plateau in der Umdrehungszeit gefunden habe, was vielleicht darin seinen Grund hat, daß ich das Minimum der Umdrehungszeit zu ermitteln für nöthig hielt.

Meine Resultate waren folgende in Sekunden:

Weiße	Gelb	Roth	Mittel-Blau
0,55	0,58	0,62	0,72

Weichen auch die Zeitbestimmungen sehr von denen Plateau's ab, so ist doch das Ergebnis dasselbe, indem auch ich die umgekehrte Reihenfolge erhielt im Vergleich mit der Reihe derselben Farben in den vorhergehenden Beobachtungen, so daß Plateau's Schluss gerechtfertigt erscheint.

Im Verlaufe seiner Abhandlung kommt Plateau auch auf die bekannte optische Täuschung an einem Rade, welches vor einem Gitter dahinrollt, und die Rozet.¹⁾ zuerst erklärt hat. Auch ich habe bereits früher darauf hingewiesen, daß man diese Erscheinung beobachten kann an dem Abplattungsmodelle, sobald dies durch die Schwungmaschine in Bewegung gesetzt wird.²⁾ Ich benutze diese Gelegenheit noch eine Methode anzugeben, durch welche die Figuren in derselben Schönheit zur Wahrnehmung gebracht werden, wie durch den von Faraday³⁾ angegebenen Apparat, nur mit dem Unterschiede, daß die beiden erzeugenden Räder excentrisch sind. Diese Methode besteht einfach darin, daß ich auf der Schwungscheibe ein Blatt weißen Papiers befestige und in dem Centrum ein aus Pappe geschnittenes Rad mit möglichst vielen, z. B. 36, Speichen anbringe, welches etwa $\frac{1}{2}$ Zoll über dem Papiere, mit diesem parallel liegt. Das Rad wirft einen Schatten auf das Papier und durch die Durchkreuzung der Radspeichen und Schattenspeichen entstehen die schönsten Curven, namentlich wenn man unter einem kleinen Winkel gegen die Radfläche die Erscheinung beobachtet.

1) Poggend. Ann. Bd. V. S. 93.

2) Poggend. Ann. Bd. LXIV. S. 326.

3) Poggend. Ann. Bd. XXII. S. 601.

XIII. Ueber die Darstellung von metallischem Chrom auf galvanischem Wege. Aus einem Schreiben des Hrn. Prof. Bunsen in Heidelberg.

In meinen electrolytischen Untersuchungen bin ich leider durch andere Arbeiten unterbrochen worden. Doch habe ich die Einflüsse, von denen die zersetzende Kraft des Stromes abhängt, so weit festgestellt, um die weiteren Untersuchungen meinen Schülern überlassen zu können. Den wichtigsten Einfluss auf die chemischen Wirkungen übt die *Dichtigkeit* des Stroms aus, d. h. die Stromstärke, dividirt durch die Polfläche, an der die Elektrolyse erfolgt. Mit dieser Dichtigkeit wächst die Kraft des Stroms Verwandtschaften zu überwinden. Leitet man z. B. einen Strom von gleichbleibender Stärke durch eine Lösung von Chromchlorid in Wasser, so hängt es von dem Querschnitt der reducirenden Polplatte ab, ob man Wasserstoff, Chromoxyd, Chromoxydul, oder metallisches Chrom erhält. Ein nicht minder erhebliches Moment bildet die relative Masse der Gemengtheile des vom Strome durchflossenen Elektrolyten. Vermehrt man z. B. allmählig bei stets gleichbleibender Stromstärke und Poloberfläche den Chromchloridgehalt der Lösung, so erreicht man bald einen Punkt, wo die Chromoxydulausscheidung von einer Reduction des Metalls begleitet und endlich von dieser ganz verdrängt wird. Als Maasseinheit für die Stromdichtigkeit nehme ich den auf 1 Quadratmillimeter vertheilten Strom von der absoluten Intensität 1 an. Es wird dann diese Dichtigkeit für den Strom von der absoluten Intensität J und für den in Quadratmillimetern gemessenen Querschnitt der Polplatte O

(1) $D = \frac{J}{O}$; J ergiebt sich mittelst der Weber'schen Tangentenbussole aus der Formel (2) $J = \frac{RT}{2\pi} \operatorname{tg} \varphi$, worin bekanntlich R der Radius des durchströmten Bussolringes in Millimetern, φ die Nadelablenkung und T den horizon-

talen Theil der erdmagnetischen Kraft (in Gauss'schem Maafse) bedeutet. In diesem Ausdruck bedarf das nach Zeit und Ort veränderliche T einer besonderen Bestimmung. Diese läßt sich am einfachsten und genauesten durch einen Wasserzersetzung-Versuch mit Hülfe des elektrochemischen Aequivalents des Wassers ausführen. Beträgt die bei einem solchen Versuch durch den Strom J in t Sekunden zersetzte Wassermenge A , und nennt man das bekannte elektrochemische Aequivalent oder die durch die Strom-einheit (in Gauss'schem Maafse) zersetzte Wassermenge α so ist dem Faraday'schen Gesetze zufolge (3) $J = \frac{A}{\alpha t}$; combinirt man diese Gleichung mit der (2) so ergibt sich $T = \frac{2 \pi A}{\alpha t R \lg \varphi}$. Zur Wasserzersetzung bei dieser Bestimmung bediene ich mich einer kleinen mit eingeschmolzenen Platinplatten versehenen Glasflasche, die mit einem luftdicht in den Hals eingeschlifften Trockenrohr versehen ist. Dieses Trockenrohr bildet an seinem untern Theile einen kleinen mit concentrirter Schwefelsäure gefüllten Waschapparat und wird mit Glasfäden angefüllt, die ebenfalls mit concentrirter Schwefelsäure durchfeuchtet sind. Der Apparat hat außerdem noch einen kleinen seitlich angebrachten mit Glasstöpsel verschließbaren Hals, durch welchen sich das eine richtige Wägung störende elektrolytische Knallgas aus dem Innern des Apparats mittelst trockner atmosphärischer Luft vor der Wägung leicht entfernen läßt. Der kleine nur wenig Schwefelsäure enthaltende mit Wasser gefüllte Apparat wird sammt der Tangentenbussole in die Kette eingeschaltet und die Nadel an der Stelle ihrer Abweichung arretirt. Ist der Apparat darauf wieder von Knallgas befreit und sorgfältig gewogen, so wird er wieder in die geöffnete Kette eingeschaltet und, nachdem die Nadel im Momente der Kettenschließung gelöst ist, die Zeit $t, t' \dots$ während des Standes der Bussolnadel φ, φ', \dots wie gewöhnlich notirt. Der Gewichtsverlust des wieder mit trockener Luft gefüllten Ap-

parates giebt das Gewicht des zersetzten Wassers A für die beobachteten Zeiten t und die Nadelablenkungen q .

Die bekanntlich bei der elektrolytischen Wasserzer-
setzung eintretende Bildung von Wasserstoffsuperoxyden,
welche diese Methode zu einer völlig ungenauen machen
würde, vermeidet man *leicht* und *vollständig* dadurch, daß
man der Zersetzungsflüssigkeit nur wenig Schwefelsäure
zusetzt und den Zersetzungsapparat während der ganzen
Dauer des Versuchs in ein Wasserbad einsenkt, dessen
Temperatur mittelst einer Lampe mit beweglichem Docht
über 60° C. erhalten wird. Ein solches Wasserbad ver-
tritt zugleich die Stelle eines empfindlichen Rheostaten, in-
dem mit einer Erhöhung oder Erniedrigung der Tempe-
ratur zugleich der Strom selbst geschwächt oder verstärkt
wird. Auch der Fehler, welcher aus der katalytischen
Wiedervereinigung des elektrolytischen Knallgases an den
Platinplatten entspringt, läßt sich *völlig* beseitigen, wenn
man diese vor ihrer Anwendung amalgamirt und darauf
bis zur *völligen* Verflüchtigung des Quecksilbers ausglüht.
Noch einfacher aber ist es, die entweichenden Gase durch
eine kleine in den Apparat mit eingeschmolzene Thonzelle
getrennt von einander zu entwickeln.

Um zur Ueberwindung kräftiger Verwandtschaften die
größte Stromdichtigkeit zu erhalten, wende ich eine Zer-
setzungszelle an, deren einer Pol durch die innere Hohl-
fläche eines, in einem Porcellantiegel stehenden mit Salz-
säure angefüllten, im Wasserbade heiß erhaltenen Koh-
lentiegels gebildet wird. Eine kleine, in diesem Tiegel
stehende, zur Aufnahme der Zersetzungsflüssigkeit bestimmte
Thonzelle enthält als zweiten Pol einen schmalen Platin-
streifen, an dessen Oberfläche der radial von den Tiegel-
wänden ausgehende Strom zu einer großen Dichtigkeit zu-
sammengedrängt wird. In dieser kleinen Vorrichtung las-
sen sich Chrom, Mangan und viele andere Metalle mit
der größten Leichtigkeit aus ihren wässrigen Chlorürlö-
sungen reduciren. Bei einem solchen Reductionsversuch mit
chromchloridhaltiger Chromchlorürlösung kann man leicht

metallisches Chrom in mehr als 50 Quadratmillimeter grossen, zusammenhängenden, aber völlig spröden Blechen darstellen, die auf der dem Platinpol anliegenden Fläche vollkommen blank und metallglänzend sind. Das Chrom, welches nur auf diesem Wege chemisch rein erhalten werden kann, gleicht im äussern Ansehen vollkommen dem Eisen, ist aber an feuchter Luft beständiger als dieses, und wird bei dem Erhitzen an der Luft zu Chromoxyd verbrannt. Chlorwasserstoffsäure und verdünnte Schwefelsäure lösen es unter Wasserstoffentwicklung schwierig zu Oxydulsalz auf. Von Salpetersäure, selbst kochender, wird es kaum angegriffen. Das specifische Gewicht, welches ungefähr um $\frac{1}{7}$ höher ist, als das in den Lehrbüchern angegebene, entspricht fast genau dem aus dem Atomvolum der Magnesiumgruppe abgeleiteten Werthe. Die Dichtigkeit des Stromes bei einem dieser Reductionsversuche ergibt sich aus den nachfolgenden Elementen: $R=201^{mm},0$; $T=1,870$; $\varphi=42^{\circ} 15'$; $O=811$ Quadratmillimeter. Also $D=\frac{RT}{2\pi O} \operatorname{tg} \varphi = 0,067$. Die Reduction des Metalles erfolgte daher aus der concentrirten bis zum Kochen erhitzten Chlorkürlösung, während jedes Quadratmillimeter der reducirenden Polfläche einen Strom von der absoluten Intensität 0,067 in sich aufnahm. Da indessen die Rechnung streng genommen nur für den Fall gültig ist, dass der eine Pol einer Hohlkugeloberfläche, der andere aber einer im Centrum dieser Hohlkugel befindlichen Kugeloberfläche entspricht, so giebt die Zahl 0,067 eigentlich nur die mittlere Dichtigkeit des Stromes. Dadurch erklärt sich zugleich auch die bei dem Versuch eintretende Erscheinung, dass die Reduction nicht gleichmäfsig auf der Polfläche, sondern vorzugsweise an den Rändern derselben erfolgte. Vermindert man allmählig die Stromdichtigkeit, so wird bald ein Punkt erreicht, wo die Metallreduction verschwindet und durch eine reichliche Bildung von wasserfreien Chromoxyduloxyd ersetzt wird. Dasselbe kann nur auf diese Weise, und zwar in grosser Menge dargestellt, und durch

anhaltendes Auskochen mit Königswasser rein erhalten werden. Es bildet ein dunkelschwarzes nicht krystallinisches Pulver, das in keiner Säure löslich ist, und wie Feuerschwamm aber unter lebhafterem Verpuffen an der Luft zu grünem Chromoxyd verbrennt. Die Zusammensetzung desselben schwankt zwischen Cr_2Cr und Cr_3Cr . Manganchlorür verhält sich dem Chromchlorür durchaus ähnlich. Das metallische Mangan läßt sich in mehr als 100 Quadratmillimeter großen spröden auf einer Seite metallglänzenden Blechen erhalten, die sich fast so leicht wie Kalium an feuchter Luft oxydiren. Vermindert man die Stromdichtigkeit, so entsteht auch hier schwarzes Manganoxyduloxyd, das sich leicht in Salzsäure zu einer dunkel braunschwarzen Flüssigkeit löst, die mit Kali einen schwarzbraunen Niederschlag giebt, und beim Kochen in Manganchlorür übergeht. Ohne auf die weiteren Reductionen, welche sich auf diesem Wege bewerkstelligen lassen, näher einzugehen, will ich nur noch bemerken, das es gewiß von großem Interesse seyn würde, daß aus der grünen und blauen Salzmodification des Chroms reducirte Metall seinem Verhalten nach zu prüfen, um zu sehen, ob sich die allotropischen Zustände auch bei dem abgeschiedenen Metalle wiederfinden.

Wendet man statt des Bleches einen amalgamirten Platindraht an, so läßt sich diese absolute Stromdichtigkeit leicht auf den Werth 1 und darüber steigern. Geschieht dieß, so wird es möglich sogar Baryum, Calcium etc. aus den mit Salzsäure angesäuerten kochendheißen concentrirten Lösungen von Chlorcalcium, Chlorbaryum etc. zu reduciren. In der Chlorcalciumlösung überzieht sich der Draht mit einer grauen Calciumschicht, die sich leicht ablösen läßt und nur wenig Quecksilber enthält. Mit Wasser oder feuchter Luft in Berührung, verwandelt sich das so erhaltene Calciumamalgam unter Wasserstoffentwicklung in Kalkerde, und bei dem Erhitzen verbrennt es mit lebhaftem Glanz. Die Reduction gelingt indessen bei dem Calcium immer nur schwierig, da sich der Pol schon nach

wenigen Minuten mit einer Kruste von Kalkerde überzucht, die den Strom unterbricht. Man muß daher, um nur einigermaßen erhebliche Mengen des Metalls zu erhalten, sehr häufig die rasch getrocknete Kruste vom Pol abstreifen, und diesen von neuem amalgamiren. Auf diese Weise läßt sich leicht so viel von dem quecksilberhaltigen Metall gewinnen, als zu einem Collegienversuch nöthig ist. Weit weniger Schwierigkeit bietet die Reduction des Baryums dar. Man erhält es leicht in Mengen von 1 Grm. als Amalgam aus einem mit schwach salzsaurem Wasser angerührten Chlorbaryumbrei bei 100° C. Das so gewonnene Amalgam, welches fest, silberweiß, und sehr krystallinisch ist, erhitzt sich an feuchter Luft bedeutend unter Abscheidung von Baryterdehydrat. Wird es in einem ausgeglühten Kohlenschiffchen in einem Strome Wasserstoffgas destillirt, so bleibt das Metall als eine poröse aufgeblähte dunkel angelaufene Masse zurück, in deren Blasenräumen oft eine silberweiße metallglänzende Oberfläche sichtbar ist. Versucht man es Baryum, Strontium oder Calcium nach der zur Darstellung des Magnesiums von mir angewandten Methode abzuscheiden, so sinkt auch hier die Stromstärke nach kurzer Zeit auf 0 herab, ohne daß man auch nur eine Spur dieser Metalle in den Einschnitten des Kohlenpols oder in der erkalteten Chlorkirnmasse findet. Das Mislingen dieser Versuche scheint auf dem Umstande zu beruhen, daß sich der negative Pol mit einer nichtleitenden Kalkschicht überzieht, die auf Kosten von Wasser gebildet wird, welches von dem selbst bei Weißglühhitze geschmolzenen Chlorcalcium immer noch hartnäckig zurückgehalten wird, und dessen Gegenwart sich nur daran erkennen läßt, daß blanker Eisendraht aus der glühend flüssigen Masse immer noch Wasserstoff entwickelt. Dabei scheint der Strom außerdem noch durch eine Siliciumschicht unterbrochen zu werden, die von gelöster Kieselerde des Tiegels her stammt. Bildet man den Reductionspol durch geschmolzenes Zinn, so bieten sich ähnliche Schwierigkeiten dar, obwohl man auf diese Art leicht eine

8 bis

8 bis 12 Procent Calcium enthaltende Zinnlegirung erhält. Ich werde diese Versuche namentlich auch mit andern als Chlorverbindungen fortsetzen lassen.

Heidelberg, 4. April 1854.

XIV. *Älteste Nachricht über Ozon und seine Benennung; von Medicinalrath Dr. Mohr in Coblenz.*

Die älteste mir bekannte sichere Wahrnehmung des Ozons findet sich in den homerischen Gedichten an vier Stellen:

Die zwei ersten, ganz gleichlautend, Odyssee, 12. Gesang, Vers 417, und 14. Gesang Vers 307. Die erste Stelle kommt in der Erzählung des Odysseus an Alkinoos vor; nachdem seine Genossen sechs Tage lang die Rinder der Sonne verzehrt hatten, verließen sie Trinakria, Zeus suchte sie mit einem Ungewitter heim, und schlug mit dem Blitze in das Schiff

»Dafs es getroffen vom Strahle des Zeus rings wirbelnd
sich drehte,

Ganz voll Schwefelgeruch.«

ἐν δὲ θείου πλῆτο, wie es an der Stelle heifst.

Das *θείον* ist nach aller Wahrscheinlichkeit Schwefel, wie auch noch heute gewöhnliche Leute den Geruch der Elektrisirmaschine und des Blitzes mit Schwefelgeruch bezeichnen. Die zweite Stelle ist ganz dem ersten gleich, und in demselben Munde.

Eine dritte Stelle, Ilias 8, 135 ist noch bezeichnender. Diomedes drängt die Troer. Zeus will verhindern, dafs nicht Diomedes »schreckliche Thaten« verübe, und entsendet
»den leuchtenden Blitzstrahl:

Vor Diomedes Gespann dicht schleudert er ihn in den
Boden;

Graunvoll stürzte die Flamme hervor von dem brennenden Schwefel.«

Hier ist ausdrücklich die *φλὸξ* (Flamme) des Schwefels genannt.

Die vierte Stelle findet sich Ilias 14. 415.

Hector hatte Aias mit der Lanze auf den Schild getroffen, aber nicht verwundet. Er entweicht. Der Telamonier stürzt ihm nach und trifft ihm mit einem Felsstück die Brust an dem Hals, dicht über dem Schildrand. Hector stürzt nieder;

„Wie von des Vaters Cronion Geschoss der entwurzelte Eichbaum

Hinstürzt: schrecklich erhebt der Geruch sich vom dampfenden Schwefel.“

Es ist keine Frage, daß den angezogenen Stellen eine deutliche Wahrnehmung derjenigen Erscheinung zu Grunde liegt, die mein Freund Schönbein mit Ozon bezeichnet hat. An der zuletzt angeführten Stelle findet sich so gar schon der Namen.

. . . . δεινὴ δὲ θεοῦ γίγνεται ὀδμή
ἔξ αὐτῆς

Das Wort ὀδμή Geruch kommt aber von ὄζω, riechen. ὄζω ist ein Naturlaut und Wahrnehmung des Tones, den wir beim Niesen durch das Organ des Geruches von uns geben, nämlich oz-zo. Solche natürlichen Anklänge hat auch die deutsche Sprache sehr viele, und zwar tiefer verborgen liegende, als die Worte: zischen, murmeln, donnern. Ich will hier nur dreier solcher Worte gedenken, die gar nicht im Geruche der Naturalerei stehen.

Das eine ist das Wort Geruch selbst, bei dessen Aussprechen wir die Luft einziehen und gleichsam die Bewegungen des Riechens machen, während der Grieche bei seinem Ozon mehr eine andere Thätigkeit des Riechorgans im Sinne hatte.

Mit Geruch hängt unmittelbar das Wort Rauch zusammen, weil er bei den alten Deutschen (in westphälischen Gehöften noch) der immer vorhandene Geruch war, so daß wir noch jetzt räuchern statt riechend machen sagen, indem

wir von Chlorräucherung, Schwefelräucherung sprechen, ohne daß dabei wirklicher Rauch auftritt.

In Parfümiren steckt *fumus*, Rauch.

Ein anderes höchst malerisches Wort ist »Hauch«. Es fängt mit *h* an und endigt damit. Man muß die Bewegung des Hauchens nachahmen, wenn man es ausspricht. Daher die Ausdrücke gehäuchlich, Gehäuchniss, d. h. nahes Zusammenleben, daß einer des andern Hauch empfindet. Und endlich das Wort »Athmen«; bei der ersten Sylbe »*ath*« zieht man Luft ein und füllt den Brustkasten, bei der Sylbe »*men*« stößt man die Luft wieder aus, und macht so gleichsam die Bewegung des Athmens. Das lateinische Wort *anhelitus* ist ebenfalls malerisch. Die Sprache ist in diesem Betrachte ebenfalls ein naturwissenschaftliches Object, und es möge sich damit diese Abschweifung entschuldigen.

XV. Meteorsteinfall unweit Mezö-Madaras in Siebenbürgen.

Ueber diesen Meteorsteinfall, über welchen bereits Tagesblätter sehr kurze und zum Theil unrichtige Notizen ins Publikum gebracht haben, giebt Hr. Partsch in den Sitzungsberichten der Wiener Academie, October 1853, ausführlichere und authentische Nachrichten.

Diesen zufolge liegt der Ort Mezö-Madaras, wo sich das ausgezeichnete Ereigniß am 4. Sept. 1852 zutrug, unter 46° 37' N. Br. und 41° 59' O. L. v. Ferro, in dem bergigen Haidlande (Mezöség), welches die Mitte von Siebenbürgen einnimmt. Es herrschte ganz heiteres Wetter, wolkenloser Himmel und Windstille, als plötzlich zwischen 4 und 5^h Nachmittags des genannten Tages in dem ganzen Umkreise ein eigenthümliches Geräusch, an einigen Orten wie entfernter Donner, an andern wie das Krachen entfernter Ge-

schütze vernommen wurde. In offenen weiten Thälern sah man theils einen hellen blitzartigen Streifen am Himmel, theils deutlich eine fallende Feuerkugel in Richtung von SW gegen NO sich bogenförmig fortbewegen. Nach den amtlich eingezogenen Daten zerplatzte das Meteor noch entfernt von der Erdoberfläche mit starkem Getöse, das dem Einsturze von Minen oder der Explosion eines Pulverturmes glich.

Dabei fiel eine große Zahl von Steinen herab, einige von Faustgröße, einer sogar von 18 Pfund schwer. Letzterer wird gegenwärtig in der Kaiserl. Mineraliensammlung zu Wien aufbewahrt. Die Fläche, auf welcher die Meteoriten gefunden wurden, bildet eine von SW nach NO gezogene Ellipse, von $1\frac{1}{2}$ Meile Länge und $\frac{1}{2}$ Meile Breite. Die Steine gaben am Stahle Funken, waren stark magnetisch, hatten durchgängig ein spec. Gew. von 3,5. Nach oberflächlicher Bestimmung scheinen sie Nickeleisen, ein feldspathartiges Mineral und Eisenkies zu enthalten; eine genauere Untersuchung haben wir vom Prof. Wöhler in Göttingen zu erwarten.

XVI. Bemerkung.

In den *Compt. rend.* T. 38 p. 38 (Jan. 1854) beschreibt Hr. Jules Regnaud eine Methode zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft galvanischer Ketten, und zwar durch Compensation mittelst thermoelektrischer Ketten. Weit vollkommener und bequemer erreicht denselben Zweck die von mir i. J. 1841 gegebene Methode¹⁾, die Hr. R. in den *Annal. de chimie et de phys.* (1843) Ser. III. T. VII. p. 87 hätte lesen können. P.

1) Ann. Bd. 54 S. 161, und auch Bd. 70 S. 60.

CH

2

REMARKS OF THE REV. W. B. BROWN, D.D., CHURCHMAN, 1881

STATIONERS' HALL, 21, W. CORNHILL, LONDON, E.C. 4.

THE UNIVERSITY OF MICHIGAN

DATE DUE

APR 29 1988